

الوقاية من

الاشعاعات المؤينة

تأليف : الدكتور بهاء الدين حسين معروف



منشورات منظمة الطاقة الذرية العراقية

حاجة الامة العربية الى الاهتمام بالعلم مساوية لحاجتها لأن تعيش ، اذ لم يعد بالامكان لأية أمة ان تعيش كأمة محترمة وان يكون لها دور في المجتمع الانساني العالمي لبناء الحضارة او الحضارات الانسانية من دون ان تحترم العلم ويكون لها باع محدد في تطور اكتشافاته واستخداماته ...

الرئيس القائد صدام حسين

محمد يوسف الدويشي

الوقاية من
الاشعاعات المؤينـــــــــة

تأليف
الدكتور بهاء الدين حسين معروف

منظمة الطاقة الذرية العراقية

١٩٨٩

ـ المقدمة ـ

تستخدم الطاقة الذرية للاغراض السلمية كتوليد الطاقة الكهربائية وتوجد تطبيقات عديدة للاشعاع والمواد المشعة في مجال التشخيص والعلاج الطبي وفي الدراسات والبحوث العلمية وكذلك في الصناعة والزراعة. يمكن ان يتعرض العاملون الذين يستخدمون المواد المشعة الى جرع اشعاعية ولكن من الممكن الحد من هذه الاضرار عن طريق اتباع أسس الوقاية من الاشعاع.

لقد شمل الكتاب تسعة فصول تناولت الجوانب الفيزياوية المتعلقة بالاشعاع المؤين وتفاعل الاشعاع مع المادة كمدخل للوقاية منه وكذلك مقادير المستوى الاشعاعي والوحدات وطرق قياس الجرع الاشعاعية والتأثير البايولوجي للاشعاع. وخصص احدالفصول لحسابات الجرع الاشعاعيةوفصل آخر للجرع الاشعاعية الناتجة عن التعرض لمختلف مصادر الاشعاع وشمل الجزء الاخير معايير الوقاية من الاشعاع وتقدير الخطورة الناتجة عن التعرض للاشعاع وهذه المواضيع تهم العاملين في حقول الاشعاع والمسؤولين عن برامج الوقاية والسلطات التشريعية والجهات المسؤولة عن حماية السكان من التعرض للاشعاع.

وختاما أود ان اقدم جزيل شكري وتقديري لكل من اغنى هذا الكتاب بالملاحظات العلمية واللغوية وأود ان أعبر عن شكري وامتناني لمنظمة الطاقة الذرية العراقية لتعضيدها نشر الكتاب والله الموفق

د. بهاء الدين حسين معروف

المحتويات

الفصل الاول

مدخل الى الوقاية من الاشعاع



الفصل الاول

مدخل الى الوقاية من الاشعاع

توجد عدة انواع من الاشعاع بضمنها الاشعاع الحراري والضوء المرئي والاشعة فوق البنفسجية والموجات الراديوية وهي على شكل حزم غير متصلة (Discrete bundles) من الطاقة تدعى الفوتونات (photons) . ان معظم هذه الاشعاعات تنتج عن اهتزاز الالكترونات في المادة وتكون مختلفة في طاقاتها.

ان الاشعاعات المؤينة وهي تشمل الاشعة السينية (X – rays) واشعة كاما (Gamma rays) ودقائق الفا وجسيمات بيتا والنيوترونات.

يستعمل مصطلح النشاط الاشعاعي لوصف التحولات الذرية الذاتية الخاصة باطلاق الطاقة والتي تتضمن تغيراً في نواة الذرة. ان الطاقة المحررة تنبعث على شكل اشعاع كهرومغناطيسي (Electromagnatic radiation) او اشعاع جسيمي (Corpuscular radiation) وتدعى النوى التي تضمحل بصورة ذاتية النويدات المشعة التي يمكن ان تنحل بطرائق متعددة وتحدد نسبة عدد النيوترونات الى عدد البروتونات حالة استقرار النوى وتحاول النوى غير المستقرة الوصول الى حالة الاستقرار عن طريق تغيير طاقتها او نسبة عدد النيوترونات الى عدد البروتونات.

1 . 1. التركيب الذري (Atomic structure)

الذرة هي اصغر وحدة معروفة للعنصر يمكن ان تبقى وتحتفظ بكل الخواص الكيمياوية والفيزياوية للعنصر. فالعنصر هو المادة التي لا يمكن فصلها الى مواد اخرى (ماعدا الجسيمات الابتدائية) .

1 . 1 . 1. الذرة (Atom)

ان جميع المواد مؤلفة من ذرات وتؤلف الذرة اصغر وحدة ذات مواصفات يمكن تمييزها من العناصر الكيمياوية ، وهي تتالف من نواة كثيفة ذات شحنة موجبة تتركز فيها معظم كتلة الذرة وتكون محاطة بالكترونات مدارية ذات شحنة سالبة . ان نصف قطر الذرة الكلي بحدود 1×10^{-8} cm بينما يبلغ نصف قطر نواتها نحو 1×10^{-12} cm وجميع الالكترونات تحمل نفس الشحنة الكهربائية التي يكون مقدارها نحو 1.602×10^{-19} Coulamb (c) ويكون لها نفس الكتلة البالغة 9.11×10^{-28} g.

ان الذرة لاتشكل جسيمة صلبة من المادة بل مجموعة من الجسيمات المرتبطة بواسطة القوة الكهرومغناطيسية (Electromagnotic force) المتوازنة . ويمكن حساب او تقدير او مقارنة كتلة الذرة (Atomic mass) بالطرائق الكيمياوية لعلاقتها بكتلة ذرة الكاربون التي لها العدد **12** .

ان الغرام ذرة الذي يرمز له بالحرف (*A*) هو كتلة العنصر بالغرامات والذي يساوي كتلته الذرية . ومقدار الشحنة الكهربائية اللازمة لتحرير غرام ذري واحد من اية مادة ذات شحنة مفردة يساوي وحدي فرداي (Faraday) التي تساوي 96487 كولومب (c) وكتلة الذرة المفردة (*M*) تساوي

$$M = \frac{A}{FLe} = \frac{eA}{F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1.1)$$

حيث ان وحدة فراداي = F

وشحنة الالكترون = e

وبهذا فأن قيمة M

$$M = 1.66x10^{-24}\ A \quad g \ldots\ldots (1.2)$$

ويعرف الثابت في هذه المعادلة بوحدة كتلة النواة وهو ما يعرف بعدد افوكادرو (Avogadro's number) ويرمز له No الذي تكون قيمته

$$No \frac{A}{M} = 6.02217x10^{23} \ldots\ldots\ldots (1.3)$$

1.1.2 النواة (Nucleus)

وهي قلب الذرة وتكون صغيرة وتتركز الكتلة فيها ولها شحنة كهربائية موجبة. ان نواة الذرة مكونة من جسيمات تدعى النيوكلونات (Nucleons) وهناك نوعان منها لها كتل متساوية تقريباً وهما النيوترونات التي تكون متعادلة الشحنة والبروتونات التي تكون شحنتها موجبة.

وهنالك عدد من المصطلحات المتعلقة بعدد البروتونات وعدد النيوترونات التي في النواة منها .

العدد الذري (Atomic number) : ويرمز له بالحرف Z وهو عبارة عن عدد البروتونات التي في النواة ويمثل كذلك عدد الالكترونات التي في المدارات الخارجية في الذرة المتعادلة.

العدد الكتلي (Mass number) : ويرمز له بالحرف A وهو يساوي الكتلة الذرية كلها تقريباً حيث يساوي عدد البروتونات التي في النواة وعدد النيوترونات الموجودة في النواة كذلك (N)

العدد النظائري . (Isotopic number): ويرمز له بالحرف I وهو يمثل عدد النيوترونات التي في النواة .

النويدة (Nuclide) : وهي النواة المحتوية على عدد معين من البروتونات والنيوترونات وتكتب على هيئة $^{A}_{z}X$ حيث تمثل X الرمز الكيمياوي للعنصر .

ومثال على ذلك الكاربون – 14 يكتب $^{14}_{6}C$ وبما ان العدد الذري للعنصر يعرف عادة من رمزه الكيماوي فأنه غالبا ما يحذف وبهذا فأن النويدة تكتب ^{14}C فقط .

ومن الممكن ملاحظة عدة انواع من النويدات مثل النظائر (Isotopes) وهي النويدات التي لها نفس العدد الذري ولكن يكون لها اعداد كتلوية مختلفة و Isobar وهي النويدات التي يكون عددها الذري مختلفا ولكن عددها الكتلوي يكون متساويا و Isomers وهي النويدات التي يكون لها نفس العدد الذري ونفس العدد الكتلوي . وهنالك نويدات يكون عدد النيوترونات فيها متساويا ولكن عددها الكتلوي مختلف وتدعى Isotone. وتساوي وحدة كتلة ذرية واحدة (One atomic mass unit) ويرمز لها a.m.u. واحداً من اثني عشر من كتلة ذرة الكاربون- 12 (^{12}C) الذي يعرف بأن له كتلة ذرية تساوي 12 بصوره مضبوطة ، وتبلغ قيمة وحدة كتلة ذرية واحدة $1.66x10^{-27}$ Kg.

3.1.1 النيوترونات (Neutrons)

تبلغ كتلة النيوترون 1.00867 a.m.u وهو من مكونات نوى الذرات والعلاقة بين الكتلة والطاقة موضحة بالنظرية النسبية.

$E = mc^2$ ....(1.4)

حيث يرمزالحرف E الى الطاقة والحرف C الى سرعة الضوء. وتساوي وحدة كتلة ذرية واحدة (1 a.m.u)

1 a.m.u $= 1.9929 \times 10^{-10}$ J $= 931.481$ MeV...(1.5)

حيث يرمز الحرف J الى الجول و MeV الى مليون الكترون فولت وهنالك عدد من المصطلحات التي تستعمل لوصف النيوترونات حسب طاقاتها. وتتراوح حدود طاقة النيوترون التي تهم الفيزياوي الصحي بين 1KeV-10MeV حيث يرمز KeV الى كيلو الكترون فولت.

4.1.1 البروتونات: (Protons)

وهي جسيمات لها شحنة كهربائية موجبة واحدة وتكون مستقرة في نواة الذرة وربما يكون هنالك بروتون واحد او اكثر في النواة.

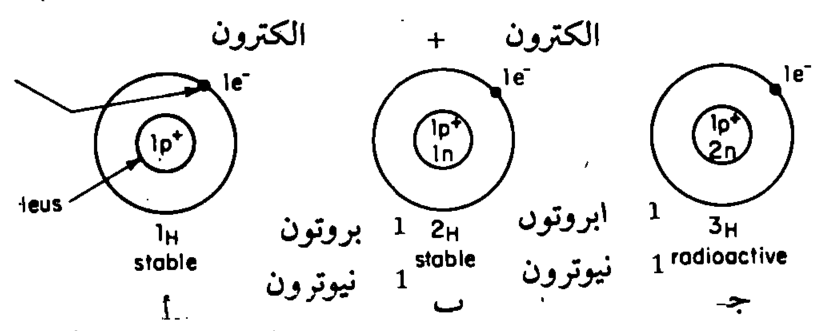
ان كتلة البروتون تبلغ 1.00728 a.m.u. وان عدد البروتونات التي في النواة يمثل العدد الذري للعنصر الذي يحدد موقعه في الجدول الدوري والذي يحدد هويته كذلك. وهذه المكونات تحدث بصورة طبيعية كمكونات وحيدة لنواة ذرة الهايدوجين وانه يمكن ايجادها باعداد اكبر في نوى العناصر الاخرى وللبروتون كتلة مقدارها 1835 مرة كتلة الالكترون وان لها طاقة اقل من بضعة مليون الكترون فولت وهي تسير بسرعة اقل من سرعة الالكترونات ذات الطاقات المقاربة. ان البروتونات لا تنبعث نتيجة الانحلال الاشعاعي لنوى العناصر.

كما ان ازدياد طاقة الارتباط يؤدي الى ازدياد استقرار النواة لان هذه الطاقة يجب ان تجهز الى النواة قبل ان تتمكن من التجزئة.

5.1.1 الالكترونات (Electrons)

وهي جسيمات تحمل شحنة كهربائية سالبة عادة. وتبلغ كتلة الالكترون 1/1850 من كتلة البروتون وهي تدور في مدارات حول النواة ويكون عدد الالكترونات مساو الى عدد البروتونات التي في النواة في الذرات المتعادلة. ان الالكترونات التي حول النواة لا تتحرك بمدار واحد ولكن اعتمادا على عددها فان مجاميع معينة تتحرك في مدارات مختلفة حول النواة ويدعى كل واحد من هذه المدارات القشرة الالكترونية (Electron shell) . ان الالكترونات تدور بسرعة عظيمة جدا ولولا قوة الجذب المسلطة عليها من قبل كتلة النواة الاثقل وخاصية التجاذب بين الشحنات المختلفة للالكترونات والبروتونات التي في النواة (مما يجعلهاكجزء من التركيب الذري) لانطلقت في الفضاء. وتستطيع الالكترونات المدارية ان تتحرك فقط بمدارات (Orbits) تعرف بواسطة عدد كمي اساسي (Principle quantum number) ويرمز له بالحرف، n الذي يمكن ان يأخذ قيمة تبدأ من الواحد فصاعدا دون كسور وتدعى مدارات الالكترونات مدار K ومدار L ومدار M والمدار N وهكذا مماثلة لاعداد الكم 1 و 2 و 3 و 4 واذا ما حدث ان قفز الكترون من مدار الى اخر فأنه يتم اطلاق طاقة من قبل الذرة او امتصاص طاقة من قبل الذرة على هيئة اشعة كهرومغناطيسية (Electromagnatic radiation) وابسط تركيب ذري هو للهايدروجين (الشكل 1.1 أ) حيث تحوي النواة بروتون

Protection



الشكل 1.1 نظائر الهايدروجين أ ـ الهايدوجين الخفيف ب ـ الهايدوجين الثقيل جـ ـ التريتيوم

المصدر 16 E.S Rolph (1979)

واحد ويحيط بالنواة مدار الكتروني فيه الكترون واحد ان الذرة التي تقع في المرتبة الثانية من حيث البساطة هي ذرة الهيليوم التي يكون فيها بروتونان ونيوترونان مكونة لنواتها مما يعطيها كتلة تساوي اربعة والكترونين في القشرة والنواة التي تقع في المرتبة الثالثة من حيث البساطة هي الليثيوم التي تحتوي نواتها على ثلاثة بروتونات وعلى اربعة نيوترونات حيث تساوي كتلتها سبعة ويكون لها ثلاثة الكترونات لمعادلة شحنة البروتونات اثنان منها في المدار الاقرب الى النواة والثالث في المدار الخارجي.

ان الذرات الاكثر تعقيدا لها اعداد متزايدة من البروتونات والنيوترونات في النواة مع الزيادة المرافقة للالكترونات التي في المدارات المحيطة.

وتعرف العناصر الكيمياوية بعدد البروتونات التي في النواة (العدد الذري) والعدد المماثل من الالكترونات ويؤدي التفاعل بين الالكترونات للعناصر الى بناء المركبات الكيمياوية.

2.1 انبعاث الاشعاع من النويدات المشعة

(Radiation emitted from radioactive atoms)

تنحل نوى الذرات غير المستقرة في العادة ذاتيا وان هذا الانحلال ينتج عنه اشعاع.

ان فعاليات الانحلال ومعدل انبعاث الاشعاع لا يمكن ان يغير او يمنع ولا يتوقف الانبعاث الاشعاعي الى ان يتم انحلال جميع نوى الذرات.

ان الانحلال النووي يولد اشعاعا يتكون من جسيمات الفا وجسيمات بيتا واشعة كاما والنيوترونات.

1.2.1 جسيمات الفا (Alpha particles) : وهي نواة ذرة الهيليوم المشحونة الطاقة المتكونة من نيوترونين وبروتونين وبهذا فأن عددها الكتلي يبلغ 4 .

وهي تحمل وحدتين من الشحنات الموجبة ويبلغ عددها الذري 2 .ويبلغ ثقل جسيمة الفا حوالي 7300 مرة اثقل من الالكترون ويتم اطلاق هذه الجسيمات نتيجة الانحلال الاشعاعي للنويدات المشعة التي تكون قيمة عددها الكتلي اكثر من 208 اي اثقل النويدات التي في الجدول الدوري. بالاضافة الى نوى قليلة اخرى اخف من ذلك ومن امثلة مطلقات جسيمات الفا الموجودة بصورة طبيعية اليورانيوم والثوريوم والراديوم والبولونيوم. وهنالك بعض النويدات المشعة الاصطناعية التي تطلق جسيمات الفا مثل البلوتونيوم والامريسيوم.

ان النواة البنت الناتجة يكون لها عدد كتلوي اقل باربعة وعدد ذري (Z) اقل باثنين من النويدة الاصل. لقد لوحظ انه من انحلال الفا لنويدة معينة يكون لجسيمات الفا المنبعثة واحد أو اكثر من الطاقات الخاصة تتراوح بين 4 - 9 MeV . ان جميع الطاقات تبتدىء من نفس الحالة الارضية (Ground state) للنويدات الاصلية وهذا ربما يدل على النويات البنات ربما تركت في حالة تنشيط (Excited state) . ان سرع هذه الطاقات تكون $1.4x10^9$سم/ ثا و $2.1x10^9$ سم/ ثانية على التوالي اي انها اقل من سرع دقائق بيتا في نفس المجال من الطاقة التي تقارب سرعة الضوء.

ان دراسة طاقات جسيمات الفا يدل على وجود مدارات طاقة (Energy shells) في النوى مناظرة لمدارات الكترونات الذرات. وبسبب سرع جسيمات الفا البطيئة فانها تقضي وقتا اكثر قرب الذرات التي تجتازها وهي تؤثر بنبضات اكبر كثيرا في الالكترونات المدارية. ان هذه النبضات تزداد اكثر لان شحنتها والقوى الكهربائية التي تؤثر فيها تبلغ ضعف تلك الناتجة عن الالكترونات ونتيجة لسرعة ادخال جسيمات الفا للطاقة الى الوسط على طول مسارها فان الطاقة الداخلة تكون اكثر كثيرا مما تفعله دقائق بيتا . ان مدى جسيمات الفا المنبعثة من العناصر الثقيلة يكون بضعة سنتمترات في الهواء او بضعة ملغرامات للسنتمتر المربع في المواد الصلبة. ويصاحب انبعاث جسيمات الفا في بعض الاحيان انبعاث اشعة كاما حيث تنبعث خلال فترة قصيرة جداً (10^{-12} ثانية) .

من انبعاث الفا ولكن في بعض الحالات فأن النويدة البنت تستطيع ان تبقى منشطة لفترات زمنية طويلة جداً تبلغ عدة سنوات وتدعى في هذه الحالة متماثلات (Isomers) وعندما يتم اطلاق الطاقة اخيراً على شكل اشعة كاما فأن هذه العملية تدعى التحول التماثلي (Isomeric transformation) .

2.2.1 جسيمات بيتا (Beta particles)

وهي الكترونات ذات شحنة سالبة (Electrons) سريعة الحركة او الكترونات موجبة (Positrons) يجري اطلاقها من النواة. ان سرعتها تبلغ 160 الف ميل في الثانية اي نحو 8 مرات اسرع من جسيمات الفا اذا اعتبرنا ان الفا وبيتا لهما نفس الطاقة. وبسبب ان جسيمات بيتا الكترونات لها كتلة صغيرة جداً فهي تستطيع قطع مسافات اعظم من المسافات المقطوعة من قبل جسيمات الفا قبل ان يتم امتصاص طاقتها ولكنها تتشتت بصورة واسعة بمسار متعرج (Erratic path) خلال وسط الامتصاص. ان الشحنة الموجبة او السالبة تنتج تاينا خاصا (Specific ionization) حيث ينخفض بصورة اسية مع المسافة. ان مدى جسيمات بيتا يعتمد على الطاقة الابتدائية وعلى كثافة الالكترونات في المادة الممتصة.

ان جسيمات بيتا تكون واحدة من الانواع المهمة من الجسيمات المؤينة بصورة مباشرة. ان هذه الجسيمات يتم اطلاقها من نوى الذرات نتيجة الطاقة المتحررة من فعاليات الانحلال الاشعاعي المستلمة عند تحول النيوترون الى بروتون والكترون ومن الناحية النظرية فأنه من المستحيل ان تتواجد جسيمات بيتا في النواة ولهذا فقد اقترح انها تخلق في لحظة الانحلال بواسطة تحويل النيوترون الى بروتون والكترون ذو شحنة سالبة او بواسطة تحويل البروتون الى نيوترون والكترون ذو شحنة موجبة الذي يدعى كذلك بوزترون (Positron).

ان قيمة طاقة بيتا يمكن ان تكون اي قيمة لغاية الطاقة القصوى التي تتوفر نتيجة الانحلال. ان فرق الطاقة بين هذه القيمة القصوى وبين الطاقة

الحقيقية لجسيمة بيتا يجري حملها بواسطة جسيمة اخرى تعرف بـالنيوترونو (Neutrono) . وفي الواقع فان هنالك نوعان من النيوترونو الاول هو النيوترونو نفسه ورمزه (ν) والاخر هو مضاد النيوترونو (Anti neutrono) ويرمز له ($\bar{\nu}$). ان التفاعلين اللذين يحدثان في النواة هما تفاعل

$$n \longrightarrow p + B^- + \bar{\nu} \quad .... (1.6)$$

وتفاعل

$$P \longrightarrow n + B^+ + \nu \quad .... (1.7)$$

ان التفاعل الذي يتم بواسطته تحويل البروتون الى نيوترون وبوزترون يحدث في النواة فقط ولكن النيوترون يتمكن من الانحلال الى بروتـون مع اطلاق الكترون خارج النواة وفي الحقيقة انها لا تشارك في اي تفاعل اخر بل تنحل ويكون عمر النصف لها نحو 13 ثانية وتطلق الكترونا ذا طاقة قصوى مقدارها 0.78 MeV ، ان النويدة (A,Z) التي تنحل بواسطة اطلاق جسيمة بيتا سوف تشحن عددها الـذري Z

مع اطـلاق الكترون $(A,Z) \longrightarrow (A,Z+1) + B^-$

مع اطلاق بوزترون $(A,Z) \longrightarrow (A,Z-1) + B^+$

ان طيف انبعاث البوزترون يختلف عن طيف انبعاث الالكترون وذلك لتأثير الشحنة على النواة الباقية.

ان الالكترونات ذات الطاقات والسرع المقاربة لتلك التي في جسيمات بيتا تستعمل بصورة واسعة في الصناعة. ان الالكترونات يجري شحنها بالطاقة في مكائن خاصة بواسطة اعطاء فولتية موجبة عالية بين مصدر الالكترونات وبين محطة التجميع (Collecting terminal) . ان احد الاستعمالات الواسعة للالكترونات ذات السرع العالية هو في انابيب التلفزيون. اما بـالنسبة الى مولدات الاشعة السينية (X ray) فانه يجري شحن الالكترونات بالـطاقة باستعمال فـولتية اعـلى كثيرا حين يتطلب طـاقة 70,000 – 115,000 eV في

مولدات الاشعة السينية لاغراض الفحص الطبي وعدة ملايين من الالكترون فولت في بعض اجهزة العلاج بالاشعة السينية.

ان الالكترونات ذات السرعة العالية المنبعثة من النويدات المشعة لها طاقات تتراوح بين بضعة الاف الكترون فولت الى اكثر قليلا من مليوني الكترون - فولت وهي تكون كافية لتتبع وجود النوى التي تطلق هذه الاشعة. وتطلق جسيمات بيتا بسرع عالية جدا مقاربة الى سرعة الضوء ولهذا عند حساب تفاعلها مع المادة يجب استعمال معادلات نسبية (Relativistic equations) . ومدى جسيمات بيتا اكبر كثيرا من مدى جسيمات الفا حيث يبلغ عدة امتار في الهواء وبضعة غرامات بالسنتمتر المربع ($g.\ Cm^{-2}$) في المواد الصلبة، وبعد ان يتم اطلاق جسيمة بيتا ربما تبقى النويدة الاصلية في حالة متهيجة وبهذا يتم اطلاق اشعة كاما في انحلال بيتا. وعندما يتم اطلاق بوزترون فانه سوف يبطىء حالا ويتحد مع الكترون. ان زوج الالكترون - البوزترون يتم اندماجه وان الكتلة المستقرة (Rest mass) للجسيمتين تظهر على شكل كمات (Quanta) .

والالكترون الموجب عندما لا يكون مع الالكترون فانه يكون مستقرا ومع هذا فان البوزترون يتحد في النهاية مع الالكترون في تفاعل ينتج عنه فناء (Annihilation) كليهما وينتج عنه اثنان من اشعاع الفناء (Annihilation radiation) لكل منهما طاقة 0.511 MeV . ان الالكترون والبوزترون تدعيان جسيمات مضادة (Antiparticles) ولكل واحد من هذه الجسيمات الابتدائية (Elementary particles) في الطبيعة جسيمة مضادة مساوية في الكتلة ولكن معاكسة في الشحنة وبعض الصفات الداخلية الاخرى. ان تلاقي الجسيمة والجسيمة المضادة ينتج عنه تحطم كامل لمادتيهما وتحولها الى طاقة فوتونات. وبالرغم من ان الجسيمة المضادة (البوزترون) لا توجد اعتياديا على الارض الا انها تخلق بفعل بعض الانحلالات النووية بالاضافة الى التفاعلات الخاصة بالاشعاعات ذات الطاقات العالية (High energy radiation)

اعمار النصف (Half Lives)

تنتج جسيمة بيتا التي تطلق من قبل المصدر المشع من التحول او الانحلال لذرة ذلك المصدر الى ذرة عنصر اخر ومعدل سرعة تحول (Rate) الذرة الخاضعة للتحول ومن ثم سرعة انبعاث دقائق بيتا تتناسب بصورة مباشرة مع عدد الذرات المشعة الموجودة وبهذا كلما قل عدد الذرات المشعة نتيجة التحولات الاشعاعية (Radioactive transformation) انخفضت سرعة انبعاث دقائق بيتا وعندما يتم انحلال نصف عدد الذرات المشعة في النموذج فان سرعة انبعاث دقائق بيتا تقل الى النصف واقصى عمر نصف لمطلق دقائق بيتا هو 5730 سنة للكربون – 14 ويبين الجدول 1.1 اعمار انصاف بعض النويدات المشعة المطلقة لاشعة بيتا وطاقاتها.

الجدول 1.1 خواص بعض مطلقات بيتا[x]

الخواص	^{3}H	^{14}C	^{45}Ca	^{32}P	^{90}Sr
	مطلقات بيتا				
عمر النصف	12.3 سنة	5730 سنة	163 يوم	14.3 يوم	28.1 سنة
طاقة بيتا القصوى (MeV)	0.0186	0.156		1.71	2.27
متوسط طاقة بيتا (MeV)	0.006		0.077	0.70	1.13

المصدر J. Shapiro (1981) 119

مدى دقائق بيتا (Range of beta particles)

ان السمك الاقصى الذي تقوم جسيمات بيتا باختراقه يدعى المـدى (Range) ويمثل ل 2.1 بعض مديات جسيمات بيتا.

ان المـدى يحدد لوسط عام له وحدة الكثافة لان اختراق جسيمة بيتا يعتمد بالدرجة الاولى على كتلة المادة التي تقطعها وانه لا يعتمد بصورة كبيرة على الخواص الذرية الاخرى مثل العدد الذري .

ان مدى جسيمات بيتا يعتمد بصورة كبيرة على الطاقة القصوى وغالبا ما يعبر عن المدى بسمك الكثافة (Density thickness) الذي يعرف بانه الكتلة لوحدة المساحة المتمثلة بنموذج ذي كثافة معينة. ان الوحدات تعـطي عادة بالملغرامات مقسومة على مربع السنتمـترات (mg/cm^2) . ولوسط ذي كثـافة (eg/cm^3) فان المدى المعطى بوحـدة (mg/cm^2) هو 1000e مضروبـا بالمدى بالسنتمترات.

الجدول 2.1 مديات بعض مطلقات دقائق بيتا بالسنتمترات .

المديات	مطلقات دقائق بيتا				
	^{3}H	^{14}C	^{45}Ca	^{32}P	^{90}Sr
المدى في الهواء (سم)	0.61	30.48	60.96	609.6	884
المدى في مادة وحدة الكثافة (سم)	5.2×10^{-4}	0.029	0.06	0.8	1.1
المدى في طبقة نصف القيمة (ممتص وحدة الكثافة) سم		2.2×10^{-3}	4.8×10^{-3}	0.10	0.14

- وحدة الكثافة تساوي واحداً :

المصدر J. Shapiro (1981) 119

ان جسيمات بيتا الناتجة عن الفسفور - 32 (^{32}P) التي لها طاقة قصوى تبلغ 1.71 MeV تحتاج الى 0.8 سم لوحدة الكثافة او 6 سم من الهواء لغرض ايقافها بينما جسيمات بيتا الضعيفة جدا الناتجة من التريتيوم التي تكون طاقتها القصوى 0.018 MeV يمكن ايقافها باستعمال 0.00052 سم بوسط وحدة الكثافة او 6 ملم من الهواء.وقاعدة بديهية ان نصف الطاقات العالية المعطى بالمليون الكترون فولت (MeV) يعطي المدى بالسنتمترات بصورة تقريبية.

امتصاص جسيمات بيتا في الاوساط

ان مدى مصدر جسيمات بيتا المعطى هو مسافة محدودة وهو يمثل اقصى سمك للمادة يمكن للجسيمات اختراقها. ولقد وجد انه على مسافات قليلة من الوسط تكون سرعة فقدان الجسيمات ثابتة تقريبا وقد وضع مفهوم جديد يتمثل بطبقة قيمة النصف (Half – Value Layer) الذي يعني المسافة التي يتم فيها امتصاص نصف الجسيمات. وبالرغم من ان المدى الاقصى لجسيمات بيتا الناتجة من الفسفور - 32 هو 0.8 فان نحو نصف جسيمات بيتا يتم امتصاصها في اول 0.1 سم ونصف تلك التي تنفذ من خلال مسافة 0.1 يتم امتصاصها في الـ 0.1 الذي يلي ذلك. وهكذا والمعادلة التقريبية لطبقة قيمة النصف لجسيمات بيتا بدلالة الطاقة بوحدة مليون الكترون فولت هي

$$HVL = 0.041\ E^{1.41}\ Cm \quad \ldots (1.8)$$

3.2.1 النيوترونات (Neutrons) : تعتبر النيوترونات من مكونات النواة الاساسية بالاضافة الى البروتونات وتكاد تكون مشابهة للبروتونات بكتلتها وحجمها ولكنها لا تحمل شحنة واعتياديا فانها تكون داخل النواة مع البروتونات وعدد النيوترونات والبروتونات يمثل العدد المميز لاي نويدة ويعرف بالعدد الكتلي.

مصادر النيوترونات

هنالك عدد محدود من مطلقات النيوترونات في الطبيعة.والنواة المشعة التي في الطبيعة والتي تكون غير مستقرة بسبب زيادة النيوترونات مقارنة بالبروتونات سوف تقوم بتغيير هذه النسبة عن طريق تحول النيوترون الى بروتون ضمن النواة مع اطلاق جسيمة بيتا بدلا عن اطلاق نيوترون. ان النويدات المشعة التي يمكن ان تطلق نيوترونات يمكن ان تولد صناعيا ولكن جميعها ماعدا واحدة منها لها اعمار انصاف قصيرة جدا لا تجعلها مفيدة. والنويدة الوحيدة المطلقة للنيوترونات التي لها امكانية عملية هي الكالفورنيوم - 252. ان هذا النظير ما فوق اليورانيوم (Transuranium isotope) له عمر نصف مقداره 2.65 سنة ويخضع الى انحلال واحد بواسطة الانتشطار لكل 31 انحلالا بواسطة اطلاق جسيمة الفا كما ان انشطار كل نواة يكاد يكون مصحوبا دائما باطلاق عدد قليل من النيوترونات التي تختلف لكل انحلال مفرد ويكون متوسط عدد النيوترونات المنبعثة لكل انشطار لنظير الكالفورنيوم - 252 هو 3.76 والى جانب انشطار الكالفورنيوم فان الطريقة الوحيدة لانتاج مصادر نيوترونات هو التفاعلات النووية (Nuclear reactions). كما ان هنالك بعض المكائن القوية التي تولد النيوترونات وتدعى مولدات النيوترونات (Neutron generators).

ارتطام النيوترونات (Neutron collisions): ان النيوترونات لا تحمل شحنة وان لها كتلة اكبر قليلا من كتلة البروتونات حيث تساوي كتلتها 1.00867 a.m.u ولانها لا نحمل شحنة فانها تفقد الطاقة بصورة مباشرة عن طريق تأينات متقاربة المسافة كما تفعل الجسيمات المشحونة مثل البروتونات اضافة الى انها ليست كهرومغناطيسية مثل فوتونات كاما فهي بهذا لا تتفاعل مع الالكترونات التي تصادفها في الوسط.وتمر النيوترونات من خلال الوسيط دون تفاعل الى ان ترتطم مع نواة الذرة. ان الارتطام الذي يشمل مادتين يحكم بقانون المحافظة على الزخم والطاقة (Law of conservation of momentum and energy) ويكون

اقصى انتقال للطاقة (Maximum energy transfer) عندما ترتطم النيوترونات مع نوى ذرات الهايدوجين (البروتونات) التي يكون لها نفس الكتلة تقريبا. وتعتمد كمية الطاقة المنقولة كذلك على اتجاهات الارتداد (Recoil) للبروتونات والنيوترونات بعد الارتطام وفيها اذا تم قذف البروتون الى الامام بصورة مباشرة فانها تتسلم جميع طاقة النيوترون الذي يستقر والطاقة القصوى التي يمكن ان تنتقل الى ذرة اثقل من الهايدوجين تقل عند زيادة العدد الكتلوي . وهذا الانتقال الجزئي الاقصى (μ) الى هدف ذي عدد كتلوي مقداره . M يساوي

$$\text{(ميو)} \quad \mu = \frac{4M}{(M-1)^2} \qquad \ldots\ldots. (1.9)$$

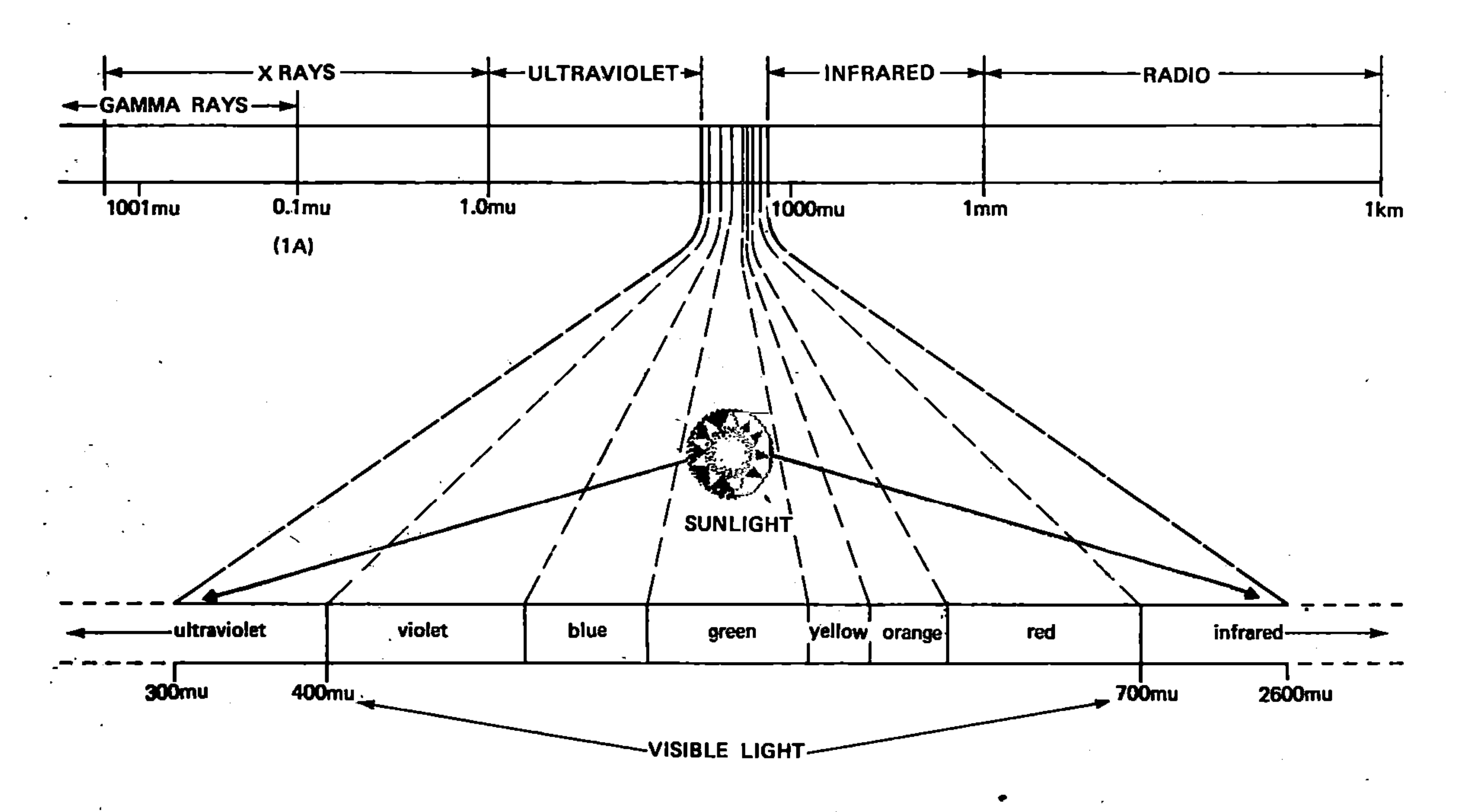
الذي يساوي واحدا عند الارتطام مع الهايدوجين (M=1) وهو 0.28 عند الارتطام مع الكاربون M=12 ويحدث الانتقال الجزئي الاقصى فقط بجزء صغير من الزمن والمتوسط هو ان الطاقة المنقولة تكون نصف القصوى.

ان الذرة المرتدة المشحونة بالطاقة (Energetic recoil atom) تصبح مشحونة بسرعة وتنفذ بصفة جسيمة مؤينةبصورة مباشرة.

4.2.1 اشعة كاما (Gamma rays)

اشعة كاما هي اشعة كهرومغناطيسية وبذلك تشبه الموجات الضوئية ما عدا ان طول موجتها اقل كثيرا من الطول الموجي للضوء(الشكل 2.1) .

وتنبعث اشعة كاما من النوى المشعة على شكل حزمات من الطاقة تدعى الفوتونات (Photons) وعادة يصاحب اطلاق جسيمات بيتا من نفس المستوى وتكون لها طاقات من نفس المجال . ان اشعة كاما تبلغ عدة الاف



الشكل 2.1 الطيف الكهرومغناطيسي موضحا فيه الطول الموجي لأشعة كاما

المصدر K.E. Maxwell (1980) 88

من الالكترون فولت ـــــــــ الى بضعة ملايين ، لكنها مخالفة لجسيمات بيتا التي تبطئ عند فقدها الطاقة وينتهي الامر بارتباطها بالذرة بينما تسير اشعة كاما بكافة طاقاتها بسرعة الضوء ان اشعة كاما تفقد الطاقة خلال الالتقاء التصادفي الذي ينتج عنه قذف الالكترونات من النواة وهي قد تفقد جميع طاقتها او جزءاً منها خلال الالتقاء واذا ما تم فقد جزء من الطاقة فأن الباقي يستمر بالسير خلال الفضاء بسرعة الضوء بصفة فوتونات ذات طاقة اقل وكلما زادت طاقة فوتونات كاما زادت طاقة الالكترونات المتحررة .

والالكترونات التي يتم انتقال الطاقة لها من قبل فوتونات كاما تـولد التلف في الوسط (بواسطة تاين وتهييج الـذرات) ومتى ما تحـرر الالكترون بواسطة الفوتون فان الحدث الذي يلي ذلك يعتمد فقط على خواص الالكترون وليس على فوتون كاما الذي يحرره.

كما ان قذف الالكترون المشحون الطاقة (Energtic electron) بواسطة الفوتون الذي له طاقة مقدارها 1 MeV مثلا من النواة يعتبر تاين مفرد فقط . ان الالكترونات عند تباطئها تولد عشرات الالوف من التاينات والتهيجات وان التلف الناتج سوف يعتمد على عدد ونمط التوزيع الفضـائي (Spatial distribution) لهذه التاينات والتهيجات بدلا من التاين المفرد الناتج من فوتون كاما.

هنالك النوع الاخر من الاشعاع الكهرومغناطيسي الذي يكون مشابها في خواصاً كثيرة لاشعة كاما والذي يطلق عليه الاشعة السينية (X – rays) والاختلاف الاساسي بينهما يتعلق بمنشئهما وبينما تنتج اشعة كاما من التغييرات الحاصلة في النواة فان الاشعة السينيـة تنبعث عندمـا يحدث تغيـير في مدار الالكترونات الذرية .

3.1 تفاعل الاشعاع مع المادة
(Interaction of radiation with matter)

1.3.1 تفاعل الاشعة الكهرومغناطيسية مع المادة
The interaction of electromagnatic radiation with matter

الاشعة الكهرومغناطيسية ذات الطول الموجي القصير باستطاعتها ان تؤين المادة وهذه الاشعة تشمل الاشعة السينية واشعة كاما واشعة الكبح او الايقاف (bremsstrahlung) وعندما يتم تفاعل الاشعاع مع المادة فأن التفاعل يعتمد فقط على طاقة الاشعاع الساقط بغض النظر عن مصدر الاشعاع.

وتدعى الاشعة الكهرومغناطيسية الفوتونات وهي تؤين بصورة غير مباشرة (Indirectly ionizing) حيث ان معظم التاين ينتج عن جسيمات ثانوية (secondry particles) وعلى سبيل المثال فان الفوتون يطلق الكترون الذرة الممتص له فيسمى الكترونا ثانويا ويكون بطاقة 30 keV. يقوم هذا الالكترون بدوره بانتاج نحو الف ايون قبل ان يستقر. ان الفوتون يستطيع ان يتفاعل عن اربع حالات هي :

- 1 مع الالكترونات المرتبطة (Bound electrons)
- 2 مع الالكترون الحرة (Free electrons)
- 3 مع المجالات من النوى والالكترونات (Fields of nuclei and electrons)
- 4 مع نيوكلونات (Nucleons)

وتشمل هذه التفاعلات ما يلي :

أ ـ امتصاصا تاما (Complete absorption)

ب ـ تشتتاً مرتبطا (مرنا) (Elastic (coherent) scattering)

جـ ـ تشتتاً مترابط (غير مرن) (Inelastic (incoherent) scattering)

هنالك اثنتا عشرة حالة ممكنة يستطيع فيها مجال كهرومغناطيسي من الفوتونات ان يتفاعل مع المادة (الجدول 3.1)٠ان بعض هذه الحالات تكون ذات اهمية قليلة حيث انها تحدث باقل من 1% ضمن مجال طاقة معينة وهناك عدد اخر بسبب ندرة حدوثها فانها وردت في الجدول 3.1 للدلالة فقط. وعلى هذا الاساس هنالك فعاليات نادرة (Negligible processes) وفعاليات ضئيلة (Minor processes) وفعاليات رئيسة تتضمن بالدرجة الاساس.

التأثير الكهروضوئي (Photoelectric effect)

وفي هذه الفعالية فان الفوتون يعطي كل طاقته (hv) (حيث يرمز h الى ثابت بلانك و v الى التردد) الى الكترون الذي يجري قذفه بعدئذ من النواة بطاقة حركية مقدارها $1/2\ mv^2$ (على افتراض عدم وجود ظروف نسبية). وهذا التفاعل لا يعتبر تفاعلا يحدث بين فوتون والكترون وانما يعتبر تفاعلا بين فوتون وذرة. ان التأثير الكهروضوئي يمكن ان يحدث فقط فيها اذا كان الفوتون الاتي حاويا على طاقة اعلى من طاقة ارتباط الالكترون المتأثر الذي تجري ازالته واننا بهذا نحصل على سلسة من القفزات في منحنى معامل الامتصاص (او المقطع العرضي) مطابقة الى طاقات الارتباط للمدارات المختلفة ويزداد الامتصاص الكهروضوئي بسرعة مع طاقة الارتباط للالكترون وبهذا فان احتمال التفاعل لهذه الالكترونات يكون اقصى ما عليه لتلك الالكترونات التي تكون اكثر شدة في الارتباط .

التغير مع العدد الذري

تكون المواد ذات العدد الذري العالي ممتصة بقوة للفوتونات وهي مستعملة بكثرة لاغراض الوقاية من الاشعاع. ان الفراغ الناتج عن قذف الكترون من المدار الداخلي يتم ملئه بواسطة الكترونات خارجية تسقط فيه

الجدول 3.1 تصنيف حالات تفاعلات الفوتون

مادة التفاعل	نوع التفاعل امتصاص مع أ	مرن ب	غير مرن جـ
1 • الكترون ذري	تأثير كهروضوئي τ_{pe} طاقة واطئة $\sim Z^4$ طاقة عالية $\sim Z^5$	تشتت رالي $\sigma_R \sim Z^2$ حدود الطاقة الواطئة	تشتت كومبتن $\sigma \sim Z$
2 • نيوكليون	تفاعلات ضوء نووية $(\gamma, n), (\gamma, p), (\gamma, f)$, etc. واخرى $\sigma_{pn} \sim Z$ $(h\nu \gtrsim 10$ MeV$)$	تشتت نووي مرن	تشتت نووي رنان
3 • مجال كهربائي او الجسيمات المشحونة المحيطة	انتاج زوج أ ـ مجال النواة $\kappa_n \sim Z^2 (h\nu \geq 1.02$ MeV$)$ ب ـ مجال الالكترون $\kappa_e \sim Z (h\nu \geq 2.04$ MeV$)$	تشتت دلبرك	
4 ميزونات (Mesons)	انتاج ميزون ضوئي Photomeson Products) $h\nu \gtrsim 140$ MeV		

المصدر K.R. Kase and W.R. Nelson (1978)

بعملية ازالة التهيج (De excitation) وهذه الفعالية ربما تكون مصحوبة بما يأتي

أ ـ بعث اشعاع متألق

(Emission of fluorescence radiation)

ب ـ بعث الكترون اوكر (Auger electron emission)

جـ ـ او كليهما.

ويوصف التنافس بين بعث الاشعة السينية من مدار K

وبعث الكترون اوكر بناتج التألق K

(K. fluoroscence yeild) وتكون احتمالية بعث K اشعة سينية قرب الوحدة (Unity) للعناصر ذات العدد الذري العالي ويقترب من الصفر للعناصر ذات العدد الذري الواطىء.

اشعاع الخواص (Characterstic radiation)

يترك قذف الكترون ضوئي من النواة فراغاً في احد مدارات الالكترونات وهذا الفراغ يملأ بواسطة الكترون يسقط من مدار خارجي وتظهر الطاقة الكامنة (Potential energy) التي تعطى من قبل هذا الالكترون في بعض الاحيان على شكل فوتونات اشعة سينية كما ان طاقات الفوتون هي من خواص الذرة التي تاتي منها وهي تدعى لذلك اشعة الخواص. وتدعى الفوتونات الناتجة من تحولات الالكترون الى مدار K اشعة (K – radiation) مع تسميات مماثلة لمدار L والمدارات الاخرى.

وهذه الاشعاعات يمكن ان تبزغ عندما تكون فراغات مدار K ناتجة بفعل الجسيمات المشحونة مثل الالكترونات في انبوب الاشعة السينية (X – ray tube)

تأثير اوكر Auger effect : وهي التحولات غير المصحوبة باشعاع التي تحدث عندما تستعمل الطاقة المتوفرة لقذف الكترون المدار الخارجي. والالكترون

المقذوف يدعى الكترون اوگر كما ان التحولات الممكنة كثيرة ويمكن ان تكون اطياف الكترونات اوكر معقدة جداً.

ناتج التألق (Fluo.re scence yeild) :

ان ناتج التألق لمدار معين هو عدد الالكترونات الضوئية المقذوفة من ذلك المدار والمصحوبة بالاشعة السينية مقسوما على العدد الكلي للالكترونات الضوئية المقذوفة من ذلك المدار .

انتاج الزوج (Pair Production)

في هذا التفاعل يتحول الفوتون ذو الطاقة العالية الى زوج من الجسيمات متكون من الكترون وبوزترون (Electron – Positron). وتدعى هذه العملية كذلك الحدوث (Materialization).كما ان طاقة الفوتون يجب ان تكون اعلى من كتلتي الجسيمتين معا. ومبدأ الحفاظ على الزخم والطاقة يمنع ذلك من الحدوث في الفراغ (Free Space).ويجب ان تكون هنالك نواة او الكترون لغرض حدوث هذه الفعالية.

تشتت كومبتن (Compton scattering)

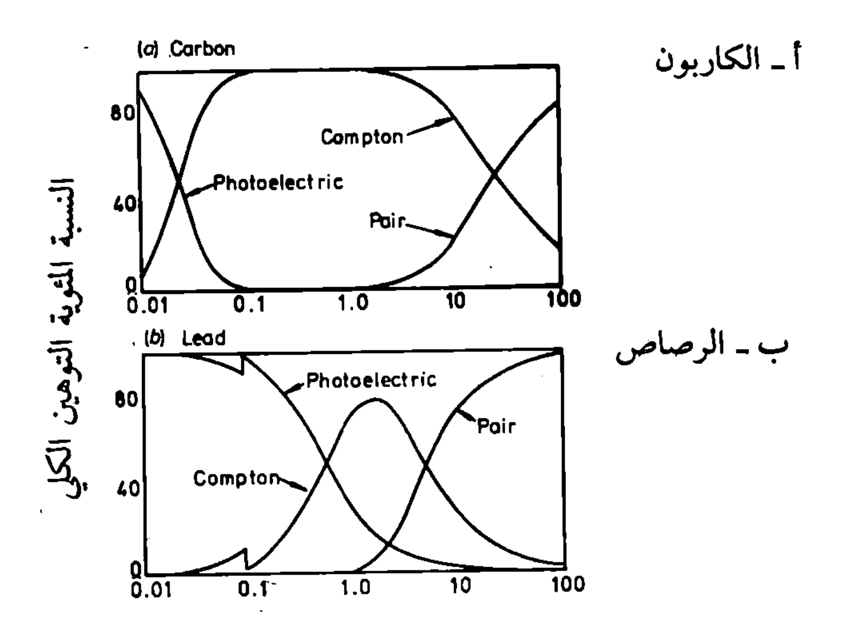
وفي هذا التشتت فان الفوتون الساقط يتفاعل مع واحد من الالكترونات الحرة التي في المدار الخارجي للنواة وهذه الفعالية هي فعالية غير مرنة من ناحية ان بعض الطاقة الحركية الاولية للفوتون يحتاج لها لغرض التغلب على طاقة ارتباط الالكترون بالنواة ولهذا فهي لا تظهر على شكل طاقة حركية للنواتج ومع ذلك فان الفعالية تعامل على انها مرنة وذلك بسبب ان طاقة الارتباط تكون صغيرة مقارنة بطاقة الفوتون الساقط.

ويتضبمن تفاعل كومبتن الاتحاد بالكترونات مدارية ولذلك فانه من المعتاد التعبير عن معامل التوهين بمصطلح المقطع العرضي للتشتت والامتصاص.

ان الفوتون ذا الطاقة hvo سوف يرتطم بالالكترون الذي يمكن اعتباره حرا .

الاهمية النسبية للفعاليات الكهروضوئية وكومبتن وانتاج الزوج

تسود التفاعلات الكهروضوئية جميع الموادعندما تكون طاقة الفوتونات واطئة. ولكن عند زيادة الطاقة فان التأثير الكهروضوئي يهبط بصورة اوسع من تأثير كومبتن حيث ان الاخير يسود في النهاية وباستمرار الزيادة في طاقة الفوتون وبالرغم من ان تأثير كومبتن يتناقص بصورة مطلقة فانه يزداد اكثر نسبة الى التأثير الضوئي ولكن عند بلوغ طاقة الفوتون عدة MeV فان فعالية انتاج الزوج تبدأ بالمساهمة بالجزء الاعظم لتفاعل الفوتونات وهذه الحالة موضحة في الشكل 3.1 حيث يمثل أ الكاربون الذي يمثل الاعداد الذرية المهمة في علم الحياة ومقاييس الجرع و (ب) الرصاص الذي يمثل المواد ذات الاعداد الذرية العالية كما ان ما يلاحظ هو ان لمادة ممثلة لعدد ذري واطيء تسود فعالية كومبتن من نحو 25keV لغاية 25MeV وهو مدى الطاقة الذي يغطي معظم استعمالات الاشعة السينية واشعة كاما في الطب.



طاقة الفوتونات (مليون الكترون فولت)

الشكل 3.1 الاحتمالية النسبية للتأثيرات المختلفة للفوتونات التي لها طاقات مختلفة في الكاربون والرصاص

المصدر J.R. Greening (1981) 28

1.3.2 تفاعل الجسيمات المشحونة مع المادة

(The Interaction of charged particles with matter)

عندما تتفاعل الاشعة المؤينة مع المادة فان الطاقة تتنقل من الاشعة الساقطة الى المادة وتكون المرحلة النهائية لهذا الانتقال خلال وسط الجسيمات المشحونة بغض النظر عما اذا كان الاشعاع الساقط جسيمات او موجات كهرومغناطيسية نقية. لهذا فان دراسة تفاعل الجسيمات المشحونة اساسي لفهم جميع تفاعلات الاشعاع.

عندما تجتاز الدقائق المشحونة ذرات الهواء ينتج ارتطام مرن (Elastic collision) وارتطام غير مرن (Inelastic collision) مع الذرات والجزيئات.

تحاول الجسيمات الثقيلة ان تقوم بعدد كبير من التفاعلات الصغيرة خلال مسارها خلال المادة بينما تقوم الالكترونات بعدد اقل من التفاعلات. وفي كلتا الحالتين فانه سوف يكون هنالك عدد كبير من الالتقاءات وان الطاقة المفقودة من الجسيمات سوف يكون لها اختلافات احصائية ولو جرى فحص مسار الجسيمات المفردة فانه سوف نجد ان عدد التاينات لوحدة طول المسار وهو ما يدعى بالتاين (Specific ionization) يتغير مع عمق المادة الممتصة ويرتفع بصنورة تدريجية الى قمة وبعدها تهبط بسرعه الى الصفر. وهذا المنحنى البياني يدعى منحنى براج (Bragg curve) وتعرف القمة بقمة براج.

يُولد الارتطام المرن انحرافات والأرتطام غير المرن يُولد ايونات موجبة والكترونات يرمز لها عادة «بالزوج الايوني (Ion pair)» ومتوسط الطاقة المصروفة لتكوين الزوج الايوني تبلغ نحو 35V بحيث ان جسيمة الفا ذات طاقة 3.5 MeV تولد نحو 10^5 زوج ايوني في الهواء قبل ان تصرف كامل طاقتها وتستقر.

ان توليد الزوج الايوني بواسطة الدقائق المشحونة يتم بواسطة تفاعلات كولومب (Coulomb interactions) ان جسيمة الفا تكون اثقل بنحو 7000 مرة من الالكترون وهي نادرا ما تنحرف عن مسارها المستقيم وذلك

لقربها من نواة الذرة.ان جسيمات بيتا لها نفس الكتلة (ما عدا في السرع العالية) حيث تتم ازالة الالكترونات الذرية بواسطة التاين. ان مسار جسيمات بيتا يكون متعرجا وغير مباشر بالمقارنة مع المسار لجسيمات الفا.

ان الجسيمات المشحونة تتفاعل مع الوسط عند مرورها بـه بالـدرجة الاساس بواسطة ثلاث طرائق مختلفة.

أ ـ بواسطة ارتطام مع ذرة باكملها

ب ـ بواسطة ارتطام مع الكترون

جـ ـ بواسطة فعاليات اشعاعية (اشعاع الايقاف)

تعتمد طريقة التفاعل الى درجة كبيرة على طاقة الجسيمات وعلى المسافة لأقرب طريق للجسيمة الى الذرة التي تتفاعل معها. واذا كانت المسافة لأقرب طريق كبيرة مقارنة بالابعاد الذرية فان الذرة باجمعها تتفاعل مع مجال الجسيمة المارة. ان هذا يسبب تهيج وتاين الذرة، ان قوة كولومب هي قوة التفاعل الرئيسة وان الجسيمة المارة تعتبر شحنة نقـطية (Point charge) وان هـذه الارتطامات البعدية تدعى كذلك الارتطامات الطرية (Soft collisions) أما اذا كانت المسافة لاقرب طريق مشابهة للابعاد الذرية فان التفاعل يكون بين الجسيمة المشحونة المتحركة وواحد من الالكترونات الذرية، ان هذه الفعالية ينتج عنها قذف الكترون من الذرة بطاقة كبيرة وغالبا ما يعبر عنها بالمصطلح ضربة خلال الفعالية (Knock – on process) وتدعى كذلـك الارتطامـات الصلبـة (Hard collisions)وبصورة عـامة فـان الطاقـة التي يحصـل عليهـا الالكترون الثاني تكون كبيرة مقارنة بطاقة الارتباط وان الفعالية يمكن ان تعامل بصفة ارتطام الكترون حر.

3.3.1 تفاعل النيوترونات مع المادة

(Interaction of Neutrons with matter)

لا يظهر تفاعل النيوترونات مع المـــــــادة التغييرات المتسلسلة مع الطاقة والعدد الذري التي هي من خواص معظم تفاعلات الفوتونات مع المادة

ولهذا فانه من الصعب التعميم . ان التحدث عن تفاعل النيوترونات مع المادة سوف يتركز في الامور المتعلقة بالوقاية من الاشعاع واستعمال النيوترونات في العلاج.

تولد النيوترونات عند تفاعلها (ما عدا الضوئي النووي غير المبهم) الكترونات ذات سرع عالية في المادة المشعة فان تفاعلات النيوترونات تولد مجالا واسعا من النوى المرتدة من الجسيمات الذرية الثانوية (Subatomic Particles) بالاضافة الى توليد فوتونات تخضع لجميع التفاعلات التي ذكرت وتقوم الجسيمات المشحونة المختلفة التي تولد من قبل النيوترونات باعطاء طاقتها بطريقة مغايرة لها مترتبات بايولوجية مهمة.

ارتطام النيوترونات (Neutron collisions)

عند دراسة تفاعل النيوترونات عند اختراقها الوسط فانه يجب ان لا يغيب عن ذهننا أن النيوترونات لا تحمل شحنة كهربائية وان لها كتلة اكبر قليلا من كتلة البروتون وبما ان النيوترون ليس مشحونا فانه لا يفقد الطاقة بطريقة تاين متقاربة المسافات مباشرة كما يحدث للجسيمات المشحونة مثل البروتونات وهي ليست كهرومغناطيسية مثل فوتونات كاما وهي بهذا لا تتفاعل مع الالكترونات في الوسط والنيوترونات تسير خلال الوسط بلا تفاعل الى ان ترتطم مع نواة الذرة كما ان الارتطام يشمل جسمي المادتين ويحكم بواسطة قانون الحفاظ على الزخم والطاقة. والطاقة القصوى المنقولة التي يمكن ان تنتج تحدث عندما يرتطم النيوترون مع نواة الهايدروجين (بروتون) التي يكون لها نفس الكتلة تقريبا. ان كمية الطاقة المنقولة تعتمد على اتجاه البروتون المرتد والنيوترون المرتد بعد الارتطام واذا كان البروتون يقذف الى الامام بصورة مباشرة فانه سوف يسلم كل الطاقة للنيوترون الى ان يخلد الى السكون بدوره.

وتصبح الذرات المشحونة الطاقة المرتدة مشحونة بسرعة وبسبب كتلتها الكبيرة فانها تسير بسرعة بطيئة نسبياً .

وتفقد الطاقة بمعدل سرعة كبيرة اي ان تاينها له صفة فقدان الطاقة الخطي العالي (High linear energy transfer) وتمثل الطاقة من الذرات المرتدة اهم آلية (ميكانيكية) تولد فيها النيوترونات التلف في الانسجة. ان ذرات الهايدروجين تتسلم معظم الطاقة من النيوترونات المارة خلال النسيج وتولد معظم التلف بصفة بروتونات مرتدة وذلك بسبب توفر الهايدوجين والاحتمالية الكبيرة للتفاعل بين النيوترونات ونوى الهايدوجين مقارنة بالنوى الاخرى الموجودة كما ان التلف الاخر ينتج من ارتداد الكاربون والاوكسجين وجزء من اشعة كاما والنيوترونات المتحررة بواسطة اسر النيوترونات ذات الطاقة الواطئة في النايتروجين.

ان الارتطام بين النيوترونات والعناصر الخفيفة التي في النسيج (في طاقة النيوترونات لبضعة MeV اقل بصورة عامة) تمثل حدوث التعرض للنيوترونات وهي تكون مرنة اي ان الطاقة الحركية للاجسام المصطدمة يتم الحفاظ عليها خلال الارتطام . اما بالنسبة الى الجسيمات الاثقل فان بعض الطاقة الحركية للنيوترونات ربما يتم نقلها الى الطاقة الداخلية للنواة وفي هذه الحالة التي يشار اليها بالارتطام غير المرن فان الطاقة الحركية التي يمكن ادخالها الى الذرة سوف يتم اختزالها.

كما ان النواة المتهيجة سوف تحرر طاقة التهيج على شكل فوتونات كاما والجسيمات الاخرى كما ان الارتطام غير المرن له اهمية في توهين النيوترونات ولكنه لا يؤدي دوراً مهما في انتاج التلف في الانسجة الحية.

الارتطامات المرنة (Elastic collision)

ان ابسط الفعاليات هو ارتطام نيوترون مع نواة، والنيوترون يجري صرفه مع بعض الفقدان للطاقة التي تنتقل الى النواة المرتدة كما ان انتقال الطاقة يكون على اشده عندما تكون كتلة النواة المضروبة هي الاقل وهذا ما يحدث لنواة الهايدروجين (البروتون) الذي تكون كتلته مقاربة جدا للنيوترون

ويهبط المقطع العرضي لهذه النواة بسرعة كبيرة جدا وسلاسة للواحد او الاثنين MeV الاولى وبعدها يهبط بصورة اكثر بطئا في الطاقات الاعلى.

ويظهر المقطع العرضي للمواد البايولوجية المهمة الاخرى مثل 0 و N و C بنفس الاتجاه ولكن يكون له عدة قمم رنانة يتم تطابقها على منحنى سلس.

الارتطامات غير المرنة (Inelastic collisions)

من الممكن اسر النيوترون فورا بواسطة النواة وبعد ذلك يتم بعثه مع استنفاد الطاقة تاركا النواة في حالة تهيج كما ان النواة ربما ترجع الى الحالة الارضية بواسطة اطلاق اشعة كاما ويحدد تشتت النيوترون ـ النواة غير المرن بحالتين هما:

أ ـ تكون جسيمات التفاعل (Constellations) الاولية والنهائية متناظرة ماعدا ان النواة الناتجة تكون في حالة متهيجة.

ب ـ تكون الطاقة الحركية الكلية للجسيمات اقل من مجموع الطاقة الحركية للجسيمات الابتدائية بمقدار مساو الى طاقة التهيج للنواة الناتجة. ان النواة الناتجة في حادثة التشتت غير المرن تبعث عادة واحدا او اكثر من اشعة كاما للوصول الى الحالة الارضية.

ان معظم اشعة كاما في الارتطام غير المرن تنبعث خلال وقت قصير جدا يكون اقل من 10^{-10} ثانية بعد التفاعل وفي بعض الحالات النادرة فان النواة الناتجة تصل الى حالة شبه مستقرة (Metastable state) والتي يحدث فيها انبعاث كاما بعمر نصف اكبر كثيراً. والتشتت غير المرن لا يمكن ان يحدث ما لم يكن النيوترون الساقط له طاقة عالية بما فيه الكفاية بحيث ان الطاقة المتيسرة تكون اعظم من الطاقة للحالة المتهجية الاولى في النواة الهدف.

التشتت الصلب (Nonelastic scattering)

ان مصطلح التشتت الصلب غالبا ما يستعمل عندما تكون الجسيمة الناتجة من التفاعل ليست نيوترونا. وبالنسبة للعناصر المهمة من الناحية البايولوجية مثل الكاربون والاوكسجين والنايتروجين فان التشتت غير المرن والتشتت الصلب يكون له طاقة حد حرج في المجال MeV 12 - 4 ويرتفع المقطع العرضي بصورة حادة عندما يتم تجاوز الحد الحرج للطاقة ويصل الى قيمة ثابتة تقريبا لطاقة MeV 15 - 10 .

فعاليات الاسر (Capture processes)

ان النيوترونات الحرارية (Thermal neutrons) التي هي في حالة توازن حراري مع المادة التي لها طاقة eV 0.025 يتم اسرها بواسطة النواة ويتناسب مقطع التفاعل العرضي غالبا بصورة عكسية مع سرعة النيوترون بطاقات اعلى من 0.025 eV .

معاملات التفاعل (Interaction coefficients)

ان اكثر كمية التفاعل فائدة في مجال قياس النيوترون هو معامل انتقال طاقة الكتلة μ_{tr}/ρ. وهنالك سببان رئيسان لذلك الاول هو انه بضرب هذا المعامل بدفق الطاقة فاننا نحصل على الكمية كرما (Kerma) وان هذا يعطي مقياسا لمجال الاشعاع للنيوترونات وقد استعمل بطريقة مرادفة لتلك لمفهوم التعرض في حالة المجال الفوتوني والثاني انه بالتشعيع بالنيوترونات فان تغيرات الجسيمات المشحونة غالبا ما تكون صغيرة مقارنة بابعاد الحجوم المعنية وفي هذه الحالات فان الكرما تساوي الجرعة الممتصة التي هي الهدف الرئيس لمقاييس الاشعاع .

واذا كانت σ هي المقطع العرضي لنوع معين من تفاعل النيوترون مع ذرة لها كتلة معياريه M فان معامل توهين الكتلة μ/ρ . يعطي بالمعادلة

$$\frac{\mu}{\rho} = N_A \frac{\sigma}{M}. \quad \text{--------} (1.10)$$

وان معامل انتقال الكتلة μ_{tr}/ρ, لتفاعل معين يعطي بالمعادلة

$$\frac{\mu_{tr}}{\rho} = \frac{N_A \sigma}{M} \frac{\bar{E}_{tr}}{E_N} \quad \text{------} (1.11)$$

خيث تكـون $\bar{E}_{tr}$ هي معدل الـطاقـة المنتقلة الى طـاقـة حـركيـة للجسيمات المشحونة بالنيوترونات ذات طاقة E_N، ومجموع معامل انتقال طاقة الكتلة يساوي مجموع جميع المصطلحات الواردة في معادلة انتقال الكتلة الـواقعة عـلى الجهة اليمنى. ان المقـطع العرضي يكـون ضروريـا لحسـاب $\bar{E}_{tr}/E_N$ لكل تفاعل وفي حالة التشتت المرن المهمة فان ذلك يعطي بالمعادلة

$$\frac{\bar{E}_{tr}}{E_N} = \frac{2 M_a m}{(M_a + m)^2}, \quad \text{------} (1.12)$$

عـلى فـرض ان التشـتت هـو مـتسـاوي الخـصـائص في جميـع الجهات (Isotropic) في مركز نظام الكتلة. امـا التفاعـلات الاخرى مثـل التشتت غير المرن والتشتت الصلب فان الامر يكون معقداً جداً .

الفصل الثاني

طرائق قياس الجرع

Methods of Dosimetry



الفصل الثاني
طرائق قياس الجرع

(Methods of Dosimetry)

تجري معظم القياسات الكمية لكميات الاشعة المؤينة لغرض ايجاد او استعمال العلاقة العددية بينها وبين التأثيرات البايولوجية والكيمياوية او الفيزياوية المتولدة بفعل الاشعاع.

ان التأثير الاشعاعي يمكن ان يحدث فقط عند انتقال الطاقة من الاشعاع الى بعض المواد التي يجري تشعيعها كما ان من المحتمل ان يكون التأثير مختلفا فيما اذا اضيفت كمية معينة من الطاقة الى كتلة صغيرة من المادة بدلا من توزيعها على كتلة كبيرة. ومن اكثر كميات مقاييس الاشعاع استعمالا كمية الطاقة المضافة مقسومة على الكتلة ذات العلاقة كما ان هذا المقياس يدعى الجرعة الممتصة. يتألف اي نظام لقياس الاشعاع من قسمين الاول هو الكاشف (Detector) والاخر هو جهاز القياس (Measuring apparatus). ان تفاعل الاشعاع مع الكاشف اما ان يولد اشارة في الكاشف او انه يولد تغيرا في خواصه. ان جهاز القياس يؤدي العمل المطلوب استنادا الى هذه الاشارة او التغيير لتخمين الكمية ذات الاهتمام المرتبطة بالاشعاع. ان هذه الكمية ربما تكون جرعة (dose) او معدل جرعة (Dose rate) او دفق (Fluence) او فعالية (Activity) او طاقة او نوع اشعاع وهكذا.

كما ان نظام كشف الاشعاع ربما يتم تصنيفه فيما اذا كانت طريقة عمله تعتمد على النبضة (Pulse) او عدم النبضة، (Non pulse) وفي النوع الذي يعتمد على النبضة فان كل نبضة مفردة تمثل تفاعل جسيمة نووية مفردة او فوتون مع الكاشف وفي عملية عدم النبضة فان الاشارة تمثل المتوسط او التأثير الكلي لعدة تفاعلات للاشعاع مع الكاشف.

والاشعة التي تهمنا في مجال الوقاية من الاشعاع هي اشعة كاما والاشعة السينية التي تؤين بصورة غير مباشرة خلال الالكترونات المتحررة من خلال التفاعلات الكهروضوئية (Photoelectric interaction) وكومبتن (Compton interaction) وانـتـاج الـزوج (Pair production interaction) . ان النيوترونات المهمة كذلك في مجال الوقاية من الاشعاع لا تؤين بصورة مباشرة كذلك ولكن الكشف عنها يجري بواسطة نواتج الاشعـاع الثانـوية النـاتجة بواسطة تفاعلها مع نوى الذرات. ان هذه الاشعاعات الثانوية ربما تكون من الانواع المنوه عنها اعلاه واستنادا الى نوع التفاعل وبالاضافة الى الجسيمات المشحونة مثل جسيمات الفا وبيتا التي تؤين المادة بصورة مباشرة ويمثل (الجدول 1.2) المواد المشعة المهمة من ناحية الوقاية من الاشعاع وبعض خواصها.

الجدول 1.2 انواع الاشعات المهمة في مجال الوقاية من الاشعـاع مع بعض خواصها

نوع الاشعاع	الرمز	الشحنة	كتلة الاستقرار Rest Mass (amu)	التاين الخاص زوج ايون / سم هواء	المدى في الهواء /Mev سم
الفا (alpha)	α	+2	4	$5x10^4$	0.5
بروتون (Proton)	P	0 +1	0	$1x10^4$	2.2
الكترون بيتا (electron)	B^-, e^-	-1	$5.5x10^{-4}$	50	370
بوزترون (Positron)	B^+, e^+	+1	$5.5x10^{-4}$	50	
كاما (gamma)	γ	0	0	–	$\frac{1}{\mu}$ ≈ 10^4 10^4
سينية	x	0	0		
نيوترونات Neutrons (n)	n	0	1	–	$\frac{1}{\mu}$ ≈ 10^4 10^4

المصدر Martin & Harbison (1979) 86

1.2 قياس دفق الطاقة والتوزيع الطيفي

(Measurements of fluence and energy distributions)

ان قياس توزيع الدفق والطاقة يمكن ان يجري بصورة سريعة في حالة شعاع الجسيمات المسددة باتجاه واحد

(Collimated mono – directional beam of particles)

حيث يتم توجيه الشعاع المسدد الى كاشف مناسب له كفاءة كشف معلومة. تكون كفاءة معظم الكواشف دالة لطاقة الجسيمة ولذلك يتطلب تفسير النتائج معرفة هذه الدالة وكذلك توزيع الطاقة للجسيمات وجميع هذه المعلومات ربما لا تكون متوفرة، لهذا تستعمل كواشف ذات كفاءة مقاربة للواحد لجميع الجسيمات بغض النظر عن طاقاتها وتدعى مثل هذه الكواشف اجهزة الامتصاص الكلي (Total absorption devices) . واذا لم يكن بالامكان الحصول على امتصاص كلي، يمكن استخدام كاشف يمتص كمية قليلة جدا من الاشعاع واعتبار توزيع الدفق والطاقة منتظما داخل الكاشف ويمكن استخدام هذه الكواشف للكشف عن اشعاعات متعددة الاتجاهات، ومن الناحية التطبيقية فان المرء يقيس واحدة من كميات مقاييس الجرع مثل الجرعة الممتصة (Absorbed dose) والكرما (Kerma) والتعرض (Exposure) ويحسب دفق الطاقة من هذه العلاقات بين الكميات ودفق الطاقة ومعامل التفاعل

2.2 انواع مقاييس الجرع

1.2.2 حجرة التاين (Ionization chamber)

يؤدي مرور الجسيمات المشحونة خلال غاز الى تاين الغاز مكونا الكترونات حرة وايونات موجبة اضافة الى ذلك تتكون ايونات سالبة نتيجة

ارتباط الكترونات حرة بذرات وجزيئات الغاز المتعادلة الشحنة وعند تسليط فولتية (Voltage) عبر اقطاب حجرة التاين فان الايونات الموجبة والايونات السالبة (الالكترونات) سوف تنحدر باتجاه الاقطاب ذات الشحنات المخالفة لشحنتها حيث يجري تجميعها وعندما يكون فرق الجهد الكهربائي الجامع واطئا فان بعض الايونات سوف تقابل الايونات الاخرى ذات الشحنات المخالفة لها وتتحد معها مكونة جزئيات متعادلة اما اذا زيد المجال في حجرة التاين فان الايونات تنحدر بسرعة اكبر كثيرا باتجاه الاقطاب وبهذا يكون الوقت المتاح للاتحاد قد قل وان الجزء من التاين الكلي الذي يجري تجميعه يزداد. وعندما تكون قوة المجال كبيرة بحيث انه يمكن القول ان جميع الايونات المتولدة قد جرى جمعها فان حجرة التاين يقال انها مشبعة كما ان من المهم ان تكون قوة المجال كافية للتأكد من ان فقد الاتحاد يمكن اهماله لاعلى شدة اشعاع يتطلب قياسها وعلى الشكل الهندسي لحجرة التاين (Chamber geometry) . تعمل حجر التاين اعتياديا بعدم النبضة باستعمال اما التيار المؤين للدلالة على شدة الاشعاع او الشحنة الكلية المتجمعة للدلالة على كمية الاشعاع.

كما ان التعرض الى رونكن واحد يولد شحنة مقدارها $2.5x10^{-4}$ Coulomb لكل غرام من الهواء بدرجة حرارة صفر مئوية وضغط 760 ملمتر زئبق. ان هذا يماثل $3.34x10^{-10}$ Coulomb لكل سم^3 وبهذا فان معدل تعرض (Exposure rate) مقداره ملراد واحد في الساعة (1m R/h) يولد تيارا يساوي.

$$1m\,R/h = 0.93x10^{-16} x \frac{273x\,P}{T\;\;760} \quad amp/cm^3 \quad \ldots (2.1)$$

T

في الهواء بضغط مقداره P ودرجة حرارة مقدارها T . كما ان اصغر تيار يمكن قياسه بصورة مقبولة مقيساً بجهاز مكبرمحمول مستمر التيار (Portable D.C amplifier) في منطقة $1x10^{-4}$ امبير وبهذا فانه من الضروري ان يكون حجم حجرة التاين عدة مئات من السنتمرات المكعبة فيما اذا اريد

قياس مستويات اشعاع مقدارها ملراد واحد في الساعة. يضع قياس مثل هذا التيار الصغير مواصفات شديدة على متطلبات العزل للاجهزة وعلى العازل المستعمل لحمل نظام القطب حيث ان تيار التسرب (Leakage current) يجب ان يكون صغيرا مقارنة بتيار التاين ولغرض توضيح هذه المسالة فان مقاومات (Resistors) خاصة تغلف بصورة اعتيادية باغلفة زجاجية مفرغة يتطلب وضعها في ناتج المكبر (Amplifier input) التي لها مقاومة (Resistance) مقدارها $1x10^{10}$ الى $1x10^{12}$ اوم (Ohms) . ان حجم المقاومة لعدة عوازل يكون كافيا لاعطاء $1x10^{20}$ Ohm cm ولكن التسرب السطحي يولد مشكلة. ان السطح يجب ان يكون جافا ويتم هذا باستعمال مواد ماصة للرطوبة (desicants) بالاضافة الى الحفاظ عليه من الخدوش ولقد استعمل العمبر (Amber) لذلك سابقاً وتستعمل الان مادة PTFE ومادة الـ Polystyrene بصورة عامة.

كما ان الناحية الاخرى التي يجب اخذها بنظر الاعتبار هي تأثير المادة العازلة على التيار الذي يؤدي الى ظهور التيار خلال العازل حيث يحدث اما اجهاد كهربائي او اجهاد ميكانيكي.

2.2.2 الوامضات والعملية الوميضية Scintillators and scintillation process

هنالك عدد من المواد التي تظهر الخواص الوميضية عندما تعرض الى الاشعة المؤينة. ان من الممكن تقسيم المواد الوميضية الى اربعة اقسام رئيسة هي

1 البلورات العضوية (Organic crystals) مثل الانثرسين (Anthracene) والستلبين (Stilbene)

2 المحاليل السائلة للمواد العضوية
(Liquid solutions of organic materials)
وتدعى كذلك الوميضيات السائلة (Liquid scintillators) مثل المذيبات Xylene و Toluene والمواد الذائبة ومنها
2,5 – diphenyl – oxazole terphenyl

3 ـ المحاليل الصلبة للمواد العضوية

(Solid solutions of organic materials)

وتدعى كذلك الوميضات البلاستيكية (Plastic Scnitillators) حيث يكون قسم منها موادا ذائبة مثل P – terp phenyl والمذيبات مثل polyphenyl chloride و polystyrene .،

4 - البلورات المنشطة غير العضوية (Activated inorganic crystals)

مثل Zn S (Ag) و Cs I (TI) و NaI (TI) و Li I (Eu) .

وبالاضافة الى ذلك فان الغازات النبيلة وبعض انواع الزجاج ذات التركيب الخاص قد جرت دراستها لاستعمالها بصفة وامضات ولكن لحد الان لم تظهر لها تطبيقات عملية واسعة.

بالرغم من الدراسات المستفيضة لعملية الوميض (Scintillation Process) فانها لازالت غير مفهومة بصورة كاملة وانها تختلف باختلاف انواع المواد الوميضية.

ومن الممكن الاستفادة من هذه الظاهرة لقياس الاشعاع ويتم ذلك من خلال سلسلة من اربع فعاليات اساسية هي

1 ـ تفاعل الجسيمات المشحونة او الفوتونات مع الكاشف مما ينتج عنه تاين.

2 ـ تحويل طاقة الجسيمات المشحونة الى كمية تناسبية من الضوء بواسطة المادة الوميضية.

3 ـ تحويل الضوء المنبعث من مادة الوميض الى الكترونات ضوئية (Photoelectrons) في القطب السالب الضوئي للانبوب الضوئي.

4 ـ مضاعفة (تضخيم) العدد الاولي من الالكترونات الضوئية الى نبضة تيار كهربائي مقيسه.

ان جسيمة مشحونة مثل الفا وبيتا تسقط على الكاشف او الكترون يتهيج في الكاشف بعد تفاعله مع الفوتون القادم سوف يقوم بتفريغ كل طاقته ضمن المادة الوميضية على ان تكون ابعاد هذه المادة اكبر من مدى الجسيمة.

تؤدي فعالية الوميض الى ان جزءاً من هذه الطاقة يبعث على شكل فوتون في منطقة الضوء المرئي او المنطقة فوق البنفسجية للطيف الكهرومغناطيسي كما ان عدد الفوتونات P التي لها متوسط طاقة مقداره $h\nu$ الناتجة من الطاقة الممتصة E ضمن المادة الوميضية ربما تكتب

$$P = \frac{E}{h\nu} E_v \quad \ldots\ldots (2.2)$$

والكمية Ev ترمز الى الكفاءة الداخلية للمادة الوميضية وبعد ان يتم تهيج المادة الوميضية بواسطة حادثة مفردة فان بعث الفوتون المعتمد على الزمن يتبع قانونا اسياً مثل

$$P(t) - \text{Constant}\ e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \ldots\ldots\ldots (2.3)$$

حيث تمثل P (t) عدد الفوتونات الكلي المنبعث لزمن مقداره t

ان زمن الانحلال T هو خاصية مادة الوميض وهو الذي يحدد زمن الارتفاع (Rise time) للنبضات المتولدة في ناتج الانبوب الضوئي .

تكون مواد الوميض العضوية سريعة الانحلال حيث يبلغ زمن الانحلال $1x10^{-8}$ ثانية او اقل اما مواد الوميض غير العضوية فان زمن الانحلال يبلغ $2.5x10^{-7}$ ثانية لمادة NaI (Tl) مثلا. وبالاضافة الى ذلك فان احد العوامل المهمة في استعمال المادة بوصفها كاشفا هو امتصاص الضوء المنبعث في فعالية الوميض عند قطعها للمادة وبسبب وجود التفاعل القوي بين الذرات المتجاورة في المواد الصلبة او السائلة فان الطاقة للذرة المتهيجة سرعان ماتشارك بها الذرات المحيطة وبهذا تتفتت وتؤدي الى ظهورها بصفة طاقة لحركة جزيئية (Molecular motion) او حرارة .

في حالة المواد غير العضوية فان اضافة كمية من الشوائب بصورة مسيطر عليها سوف يؤدي الى حدوث عيوب في تركيب البلورات (Crystal lattice) التي تعمل على شكل مراكز صيد. ان كلتا الطاقتين التباين والتهيج يمكن ان تنتقل من ذرة الى اخرى في التركيب البلوري وان بعضها

سوف يصل الى مركز الصيد قبل تفتته. وعند الوصول الى مراكز الصيد فان هذه المراكز ترتفع الى حالة الهيجان. ان طاقة التهيج سوف يحتفظ بها لفترة زمنية كافية لكي يعود المركز الى الحالة الارضية مع بعث فوتون الذي يكون له في الموادالوميضية طاقة مناظرة لمنطقة الاشعة فوق البنفسجية او لمنطقة الطيف المرئي، ان اطلاق الفوتونات ياخذ وقتا مقداره $1x10^{-8}$ ثانية ولكن اذا كانت الحالة المتهجية مرحلية فان الانبعاث ربما يعرقل وان انبعاث الضوء يتوزع على عدة اجزاء في المليون من الثانية او اكثر (لبعض المواد ربما تكون هذه الفترة ساعات او ايام مما يعطي ظاهرة التلألؤ (phospho rescence) . ان الناتج الضوئي لمادة وميضية جيدة يبلغ نحو 20 eV الى 60eV من الطاقة المصروفة بواسطة الجسيمات المشحونة لكل واحد من فوتونات الضوء المنتجة. ان من الامور المهمة التي يجب اخذها بنظر الاعتبار في الكاشف الوميضي النقل الكفوء لفوتونات الضوء المنتجة من المواد الوميضية الى القطب السالب الضوئي للمكبر الفوتوني.

الانابيب المكبرة الضوئية (Photomultiplier tubes)

ان القطب السالب الضوئي (Photo cathod) للمكبر الضوئي المستعمل في الكواشف الوميضية يتكون عادة من طبقة من مادة دقيقة جدا شبه رقيقة مثل Sb – Cs و Sb – K و Cs و Na – K– Cs مرسبة على السطح الداخلي لنافذة انبوب المكبر الضوئية. ان كفاءة التحويل (Conver- sion efficiency) تمثل النسبة بين عدد الالكترونات الضوئية المنبعثة الى عدد فوتونات الضوء الساقطة في المنطقة التي يكون فيها الطول الموجي 450nm وتكون النسبة 20 – 30٪ ضمن الاستجابة القصوى وهذه الاقطاب الضوئية السالبة لها استجابة طيفية (كفاءة تحويل بدلالة الطول الموجي) مطابقة بصورة معقولة الى اطوال الموجة للضوء المنبعث بواسطة معظم المواد المستعملة بصفة مواد وميضية 400nm – 500nm لاعطاء كفاءة كلية مقدارها 10%

كما ان الالكترونات المتحررة على القطب السالب الضوئي يجري تعجيلها الى مجموعة الازرار (Dynodes) التي تكون مغلفة بمادة الانتموني الحاوي على السيزيوم (Antimony – Caesium) حيث تكون بحالة فرق جهد عال متواصل (Successively higher potential) ويجري تحرير عدة الكترونات بواسطة الانبعاث الثانوي لكل الكترون يرتطم بالازرار. ان هذه الالكترونات يتم تعجيلها الى الازرار اللاحقة حيث يجري اعادة العملية. والمكبرالضوئي قد يحوي على عشرة من هذه الازرار كما ان التكبير باربعة لعدد الالكترونات في كل واحدة من المراحل يعطي تكبيرا مقداره 4^{10} او 10^{6} وهو ما يسهل الحصول عليه وتزداد درجة التكبير في كل مرحلة مع زيادة فرق الجهد المعطى خلال الازرار وبهذا فان طاقة الالكترونات المرتطمة تزداد لغاية الوصول الى حد اقصى عريض. ان الفولتات الاعتيادية المستعملة هي 50 Volt الى 150 Voits لكل مرحلة كما ان التكبير النهائي يتغير بصورة تقريبية مثل V^{n} حيث تتراوح قيمة n بين 7 الى 9 .

3.2.2الطريقة الكيمياوية لقياس الجرع (Chemical dosimetry)

عند امتصاص الاشعة المؤينة من قبل المواد فان هذه المواد ربما تتغير كيمياويا واذا امكن معرفة هذا التغير فانه يمكن ان يستعمل مقياسا للاشعاع. هنالك اعداد كبيرة من مقاييس الاشعاع الكيمياوية التي تم اقتراحها ولكن قسما قليلا منها فقط تعدى استعماله حدود المختبر الذي استعمله اولا. ان هذا القول لا ينطبق على النظام المقترح من قبل العالم Fricke ومساعديه في سنة 1927 حيث اوجد طريقة كيمياوية لقياس الجرع تدعى مقياس جرع فركة (Fricke dosimeter)وتدعى كذلك مقياس جرع سلفات الحديدوز (Fer- rous sulphate dosimeter) وهذا المقياس يتألف بصورة اساسية من محلول سلفات الحديدوز في حامض الكبريتيك المخفف المشبع بالهواء. كما ان ايونات الحديدوز Fe^{+2} تجري اكسدتها بواسطة الاشعاع الى ايونات الحديديك Fe^{+3}

ان محاليل مقياس الجرع هذه تتألف من 96% ماء في الاقل (Ferric ions) ونتيجة لذلك فأن الاشعاع يتفاعل بصورة تكاد تكون كلية مع الماء بقذف الكترونات مما يؤدي الى ترك جزيئات الماء المتاينة وكذلك جزيئات الماء الناتجة في حالة تهيج الى مستوى اعلى من حدود الكسر لاصرة ورمزها H_2O^* H – OH.

ومن الممكن وصف التفاعل على النحو الاتي :

$$H_2O \xrightarrow[\text{(اشعاع)}]{\text{radiation}} H_2O^+ + e^- + H_2O^* , \quad \text{------} \quad (2.4)$$

$$H_2O^* \rightarrow H + OH. \quad \text{------} \quad (2.5)$$

ان ايونات الحديدوز يجري اكسدتها الى ايونات الحديديك بواسطة جذر الهايدروكسيل .

$$Fe^{2+} + OH \rightarrow Fe^{3+} + OH^- \quad \text{------} \quad (2.6)$$

بالاضافة الى ان ذرة الهايدروجين تتفاعل مع الاوكسجين المذاب لاعطاء جذر الهايدروجين.

$$H + O_2 \rightarrow HO_2 , \quad \text{--} \quad (2.7)$$

الذي يقوم باكسدة ايونات الحديدوز

$$Fe^{+2} + HO_2 \longrightarrow Fe^{+3} + HO_2^- \quad \text{..........} \quad (2.8)$$

مما يؤدي الى توليد بيروكسيد الهايدروجين

$$HO_2^- + H^+ \longrightarrow H_2O_2 \quad \text{..........} \quad (2.9)$$

الذي يولد ايونات الحديديك كذلك

$$Fe^{+2} + H_2O_2 \longrightarrow Fe^{+3} + OH + OH^- \quad \text{....} \quad (2.10)$$

الناتج الكيمياوي للاشعاع وقيمة G

(Radiation Chemical yeild and G Value)

يجري ادخال الكمية الناتج الكيمياوي للاشعاع G (X) في مقياس الاشعاع الكيمياوي لغرض قياس الجرع الموازي الى 1/W وهو مقلوب متوسط الطاقة لكل زوج من الايونات في مقياس الجرع بواسطة حجر التاين.
ان الناتج الكيمياوي للاشعاع قد عرف من قبل هيئة (ICRU) في عام 1980 بالكسر $\frac{n(X)}{E}$ حيث يمثل الرمز n(X) متوسط كمية المادة ذات الكيان الخاص الناتجة او المحطمة او المتغيرة بواسطة متوسط الطاقة الداخلة E^- الى المادة. ان وحدتها في نظام SI هي $mol\ J^{-1}$ لقد استعملت الكمية G لعدة سنوات خلت وهي حاصل قسمة متوسط عدد (العدد المعاكس لمقدار الطاقة) للكيانات الابتدائية (Elemintary intities) الناتجة او المحطمة او المغيرة والطاقة المضافة. لقد جرى التعبير عنها كعدد الكيانات لكل 100eV (ان الوحدة هي 100eV) ومن المحتمل ان تبقى هذه الوحدة رهن الاستعمال لغاية التحول التدريجي الى الناتج الكيمياوي للاشعاع.

ان الكميتين لهما علاقة بعضهما ببعض بواسطة المعادلة

$$\frac{G\ \text{value}}{(100\ \text{eV})^{-1}} \times 1.0365 \times 10^{-7} = \frac{\text{radiation chemical yield}}{\text{mol J}^{-1}} \quad ---(2.11)$$

واذا امكن معرفة ناتج ايونات الحديديك كقياس عدد المولات مثلا فانه يمكن حساب الطاقة الممتصة عند معرفة الناتج الكيمياوي للاشعاع.

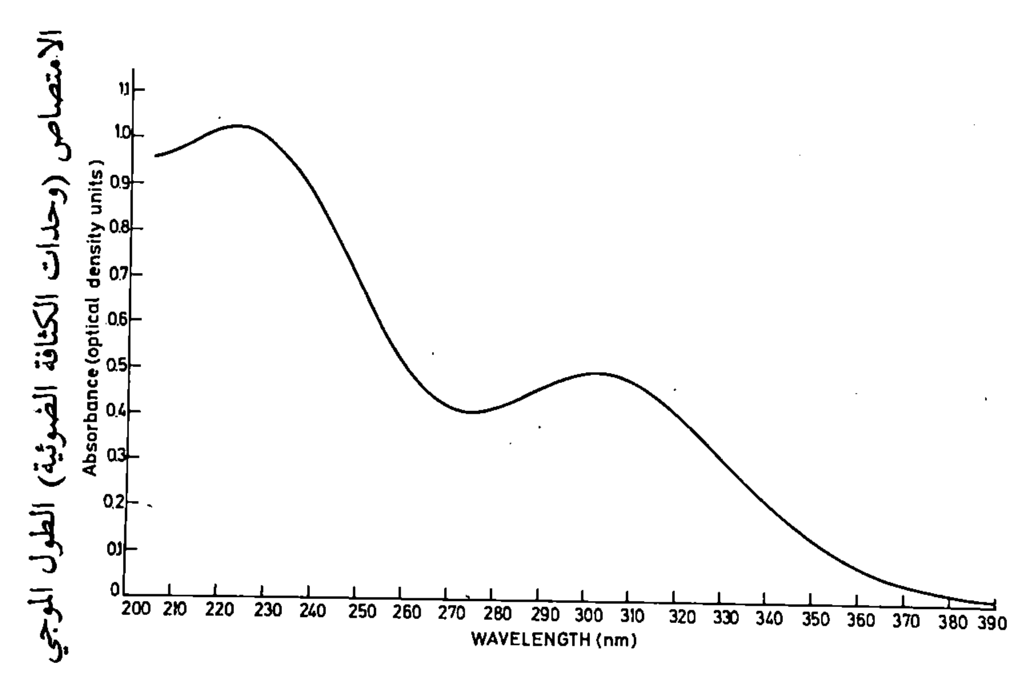
ان ايونات الحديديك الناتجة يجري قياسها بصورة مباشرة بطريقة المطياف الضوئي (Spectrophotometery) لمحلول مقياس الجرعة الذي يظهر قمة امتصاص في مجال الاشعة فوق البنفسجية عند الطول الموجي 224nm و 304nm وتستعمل القمة الثانية عادة (الشكل 1.2)

تحسب الجرعة الممتصة D في محلول مقياس الجرع من المعادلة

$$D = \frac{A - A_0}{\rho\, G(Fe^{3+})\, l \varepsilon_m} \text{ ------ } (2.12)$$

حيث تمثـل Ao و A الكثـافـة الضـوئيـة (Optical density) للمحلول قبل وبعد التشعيـع وتمثل ρ كثـافة محلول مقيـاس الجرعـة و G(Fe+3) هي الناتج الكيميـاوي للاشعـاع من ايونـات الحديـديك ويمثـل L طول مسلك الضوء (Photometer cell) في الخلية الضوئية (Light path) و Em هو معامل الانطفاء المولي (Molar extinction coefficient) لايونات الحديديك حيث يساوي

$$Em = \frac{A}{IC} \text{ ..... } (2.13)$$



الشكل 1.2 طيف الامتصاص لمحلول Fricke المشعع

المصدر IAEA (1978) 38

حيث يمثل C تركيز المذاب.

ويجب الملاحظة انه عند استعمال قيمة G بدلا عن الناتج الكيمياوي للاشعاع فان A – Ao يجب ان تضرب بثابت افوكادرو (Avogadro constant) . ان الوحدة التي يجري التعبير فيها عن الطاقة على جانبي المعادلة يحتمل ان تكون مختلفة وفي هذه الحالة يستعمل معامل تحويل. واذا تم استعمال وحدات SI في جميع القيم التي على الجهة اليمنى من المعادلة فان الجرعة الممتصة يحصل عليها بوحدات الـ SI وتكون gray (Gy)

ان قيم G لمقياس جرع Fricke قد جرى تقديرها من قبل عددا من الباحثين وان هذا يشمل قياس الاشعاع بواسطة نظام Fricke وانظمة اخرى مثل مقياس السعرات وحجر التاين. ويمثل الجدول 2.2 بعض هذه القيم التي تمثل الفوتونات ذات الطاقات الواطئة . اما بالنسبة الى قيم الفوتونات ذات الطاقة العالية والالكترونات فان هناك اختلافا ظاهرا بين نتائج مقياس السعرات وبين مقياس التاين ومن المعتقد ان هذا ينتج عن الخطأ في طريقة التاين لقياس الجرع التي هي اكثر للفوتونات من الالكترونات.

الجدول 2.2 ناتج الاشعاع الكيمياوي وقيم G لكبريتات الحديدوز لبعض الفوتونات والاشعاع

طاقة الفوتون KeV	ناتج الاشعاع الكيمياوي $G(Fe^{3+})/\mu mol\ J^{-1}$	قيم G $(100\ eV)^{-1}$
5	1.3	12.5
6	1.32	12.7
8	1.35	13.0
10	1.37	13.2
15	1.41	13.6
20	1.43	13.8
30	1.46	14.1
40	1.48	14.3
50	1.49	14.4
60	1.50	14.5
80	1.51	14.6
100	1.52	14.7
الاشعاع		
^{137}Cs	1.59	15.3
2MeV	1.60	15.4
^{60}Co	1.61	15.5
فوتونات 4 – 33 MeV	1.61	15.5
الكترونات 3 – 35 MeV	1.61	15.5

المصدر J.R. Greening (1981) 28

4.2.2 مقاييس جرع الوميض الحراري
(Thermoluminscence dosimetry)

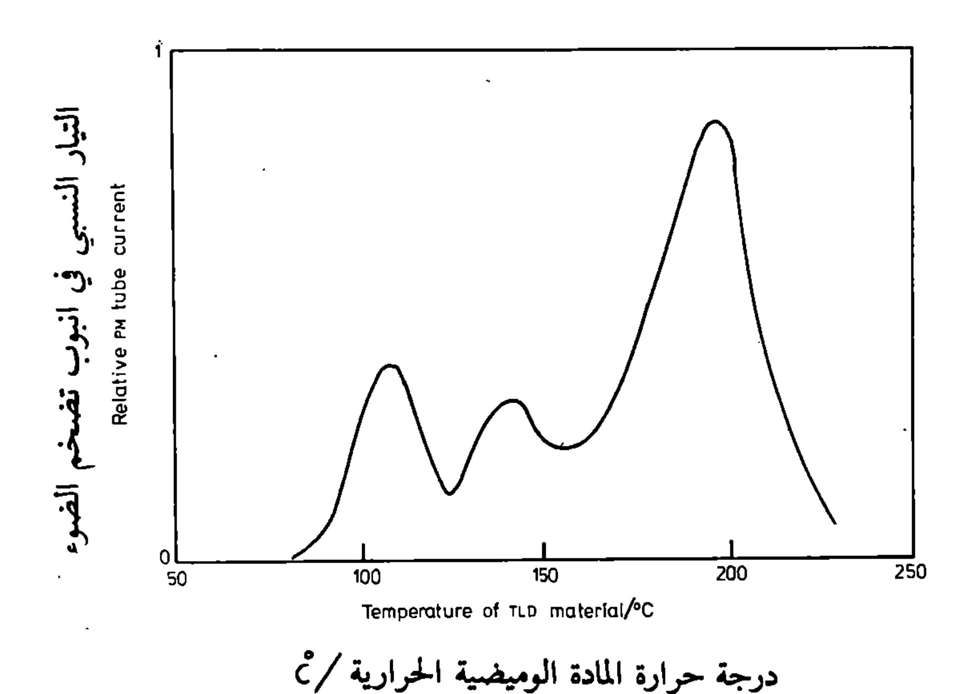
يعود الفضل في اكتشاف ظاهرة الوميض الحراري الى العالم الكيمياوي Robert Boyle في سنة 1663 حيث كتب الى الجمعية الملكية (Royal Society) في لندن عن ملاحظته لضوء وهاج غريب عند احماء الماس في الظلام. وفي سنة 1705 وصف العالم Oldenberg ظاهرة الوميض الحراري في المعادن مثل الفلوريت. وفي سنة 1830 قام العالم Pearsall بوصف تأثير الكهربائية في المعادن التي تتوهج عند احمائها. وفي سنة 1895 قام العالم Wiedmann بالكتابة عن استعمال الوميض الحراري الناتج من كبريتات الكالسيوم: المنغنيز المصنعة لتحسس الاشعاع الناتج من التفريغ الكهربائي. اما استعمال ظاهرة الوميض الحراري في قياس الاشعاع المؤين فقد تمت من قبل العالم Tousey ومساعديه في سنة 1951 حيث تم قياس الاشعة السينية بالاضافة الى الاشعة فوق البنفسجية. وان من الممكن اعتبار عام 1953 هو البداية الحقيقية لاستعمال ظاهرة الوميض الحراري في قياس الاشعاع عندما قام العالم Daniels ومرافقوه باثبات جدواها.

يشمل الوميض الحراري خطوتين حيث يتم في الخطوة الاولى تعريض المادة الصلبة الى الاشعاع المهيج مثل الجسيمات او الاشعة الكهرومغناطيسية بدرجة حرارة ثابتة وفي الخطوة الثانية يتم قطع التهيج ورفع درجة الحرارة للنموذج المشعع كما ان شدة الوميض بدلالة الحرارة يمكن ان يكون لها عدة قمم قصوى (الشكل 2.2) وهو يدعى منحنى التوهج الوميضي الحراري (Thermoluminescence glow curve) ويسمى كذلك منحنى التوهج للوميض المحفز حرارياً.

(Thermally Stimulated Luminescence glow curve)

ان ميكانيكية ظاهرة الوميض الحراري معقدة وبالرغم من وضع عدة

نماذج (models) نظرية لتفسير هذه الظاهرة الا ان الصعوبة تظهر عند الاخذ بنظر الاعتبار مادة مقياس الجرع. كما ان احدى المشاكل الرئيسة عند التعامل مع النماذج هي ان كثيراً من الملحوظات المستقاة من التجارب يمكن ان تنتج فقط بمستويات عالية من الجرع الممتصة مثل تجارب الكثافة الضوئية (Optical density studies) ويكون من الصعب تخمين هذه التقديرات في الجرع الممتصة التي نصادفها في حياتنا العملية.



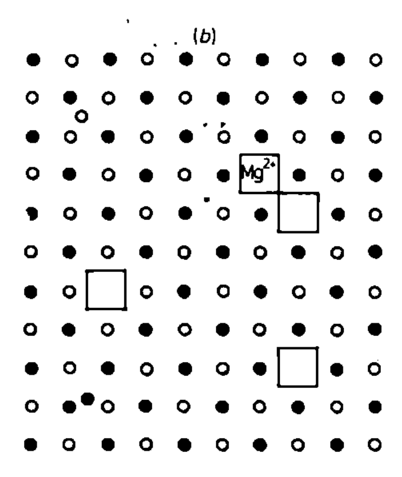
الشكل 2.2 **منحنى التوهج الوميضي الحراري لمادة وميضية حرارية**

المصدر J.R. Greening (1981) 28

ان فهماً كاملا لميكانيكية ظاهرة الوميض الحراري لم يتم التوصل اليه بعد وان من الممكن استنباط ميكانيكية عامة للظاهـرة بواسـطة الاشارة الى ابسط انواع التراكيب للبلورات المتعددة الذرات (Multi - atomic crystalline structure) وهو الهاليدات القاعدية (Alkali halides) حيث تتكـون من شبكات من الايونات المكعبة المتداخلة القاعدية والهالوجينية (الشكل 3.2) حيث يمثل الشكل الحالة المثالية للبلورة الكـاملة (Perfect crystal) ولكن الحقيقة هي ان جميع البلورات الحقيقية تحوي عيوبا شبكية من انواع متعددة (الشكل 4.2) وهذه العيوب تؤدي دوراً مهما في فعالية الوميض الحرارية.

الشكل 3.2 التركيب الايوني المثالي الكامل لبلورة الهالوجين القاعدية ● ايونات الهالوجين ○ الايونات المعدنية القاعدية

المصدر A.F. Mc Kinlay (1981) 89



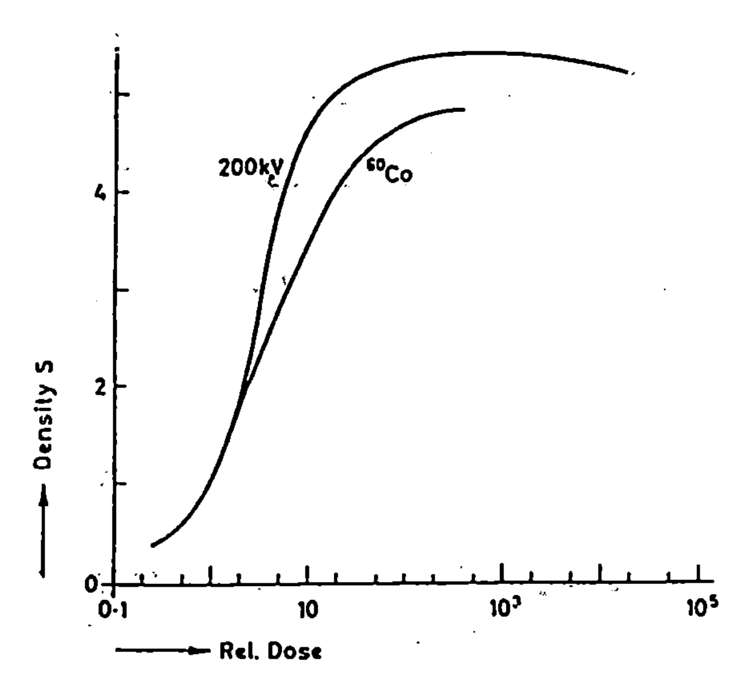
الشكل 4.2 التركيب الايوني لبلورة واقعية غير كاملة تحتوي عيوبا مختلفة الانواع

● ايونات الهالوجين ○ الايونات المعدنية القاعدية

المصدر A.F Mc Kinlay (1981) 89

5.2.2 افلام قياس الجرع (Film dosimeters)

تسـود مستحلبات الافـلام عند تعـرضها الى الاشعـاع المؤين وهـذه المستحلبات تتكون من بلورات هوليد الفضة وغالب ما تكون بروميد الفضة الموضوعة في مادة هلامية وتنشر بصورة منتظمة ورقيقة على قاعدة بلاستيكية رقيقة. استعملت خاصية الاسوداد لقياس الاشعـة السينية لغرض الكشف الكمي عنها . ان اعتماد الاسوداد على الجرعة (منحنى الكثافة ـ الجرعة) موضح في الشكل 5.2 .



الشكل 5.2 الكثافة المحسوبة بواسطة قياس الضوء لافلام قياس الاشعاع لاشعة كاما المنبعثة من الكوبلت ـ 60 ومن الاشعة السينية بطاقة 200 keV (معدلة لاسوداد مقداره 1)

المصدر Kiefer and Maushart (1972) 77

كما ان الاسوداد يتناسب مع جرع التعرض من الجرع الواطئة فصاعدا. ويستعمل العرض على شكل نصف لوغارتمي غالبا في منحنيات الجرعة - الكثافة لغرض توضيح مجال اوسع. وباستعمال الافلام فأنه من الممكن تغطية المجال $1x10^2 - 1x10^3$ الى واحد ويعطي الحد الاعلى للتحسس بواسطة الكثافة القصوى للفلم. كما ان الاسوداد ويرمز له بالحرف S يمكن ان يقاس ضوئيا (photometric measurement) وهو يساوي

$$S = 10_g \left(\frac{Io}{Ix} \right) \qquad ...... (2.14)$$

حيث تمثل Io شدة الضوء المنتقل خلال الفلم غير المعرض و Ix هي الشدة المنتقلة خلال الفلم المسود (المعرض).

ان هذه القيمة تكون اعلى من 4 . وفي الجرع الاعلى فأنه يكون هنالك اختزال في الكثافة راجع الى ظاهرة تعرف بالتشميس (Solarization) والزيادة الاكثر في الجرع الاعلى تنتج عن انفصال الفضة.

تزداد الكثافة الضوئية الناتجة بفعل الاشعاع في افلام التصوير في البداية بصورة خطية مع التعرض الى الاشعاع ولكن تهبط في النهاية الى اقل من القيمة المتوقعة من خلال التناسب المباشر. واذا عرض الفلم الى فوتونات ذات طاقات مختلفة وان الكثافة الضوئية تقع ضمن المجال الخطي فلقد وجد بالتقريب ان الكثافة الضوئية تتناسب مع الجرعة الممتصة في حبوب هاليدات الفضة.

تدل النظرية على ان استجابة الفلم للاشعاع ذي الطاقات المختلفة سوف تتأثر بسمك المستحلب ونسبة المادة الهلامية الى هاليدات الفضة في المستحلب بالاضافة الى ان حجم الحبيبات يكون له تأثير.

كما ان الطاقة المستحصلة من جرع اشعاعية متساوية تعتمد على طاقة الاشعاع الساقط. ويعزى هذا الى الاختلاف في معاملات الامتصاص للهواء ومستحلبات التصوير. ان قمة الامتصاص في مستحلبات التصوير تقع قريبا

من 40 KeV · ان الافلام الاعتيادية تكون حساسة اكثر عند هذه الطاقة بمعامل مقـداره 15 الى 40 ضعف من الحساسيـة الدنيـا قـرب 1 MeV ومن الممكن التغلب على بعض الصعوبة الناتجة عن اعتماد حساسية الفلم على طاقة الاشعاع بما يلي

1 امتصاص الاشعاع بمرشحات معدنية
2 مزج مستحلبات افلام ذات حساسيات مختلفة
3 التعويض المتألق (Fluorescence compensation)

الحساسية

هنالك عدة حساسيات مطلوبة في افلام قياس الجرع وذلك ناتج عن طبيعة استعمالاتها المختلفة بـوصفها مقـاييس جرع فـردية او مقـاييس جرع حوادث (او لغرض حساب الجرع الموقعية).

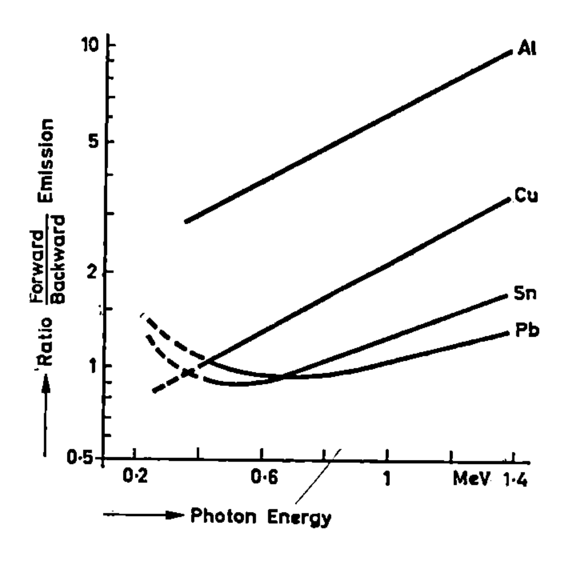
كـما ان افـلام قـيـاس الاشـعـاع الـتـجـاريـة تـقـيس بـين 50mR و 100R باستعمال مستحلبين لهما حساسيات مختلفة. حيث تشمل فلما حساسا وفلما غير حساس في نفس العبوة او ان مستحلبين لهما حساسيات مختلفة يتم وضعهما على سطحي نفس الفلم وفي هذه الحالة يجب التأكد من ان مجـال الجرع للمستحلبـين يتطابق في بعض النقـاط لغرض تجنب الخـطأ في حساب الجرع بين المجالين.

ومن الممكن تحسس جرعاً اشعاعية تقل عن 10mR (الاشعاع الكمي ذي الكثافة التاينة القصوى) بينما يمكن قياس اعلى من 1000R (للاشعاع الكوني ذي كثافة التاين الدنيا) كما يمكن تحسس عشرات من mR بواسطة استعمال التشديد التوهجي (Fluorescence intensification)

استعمال المرشحات مع الافلام

ان للمرشحات المعدنية القابلية على امتصاص الاشعاع ذي الطاقات الواطئة الى درجة كبيرة بسبب تحرر الكترونات ثانوية اضافية في حالة الاشعاع ذي الطاقة العالية كما في الشكل 6.2 ومن الممكن تقليل اعتماد كثافة الافلام على الطاقة باستعمال المرشحات التي تستطيع ان تعالج حالة الاعتماد على الطاقة.

كما ان بالاستطاعة الحصول على عدم اعتماد على الطاقة مقداره ± 20% فوق طاقة 100 KeV باستعمال مرشح واحد وعلى سبيل المثال يمكن استعمال مرشح ذي سمك 1.2 ملمتر مصنوع من القصدير (Tin) على كلا الوجهين الامامي والخلفي للفلم ولكن هذا النوع من الافلام سوف يكون قليل الحساسية جدا للطاقات الاقل من 100 KeV .

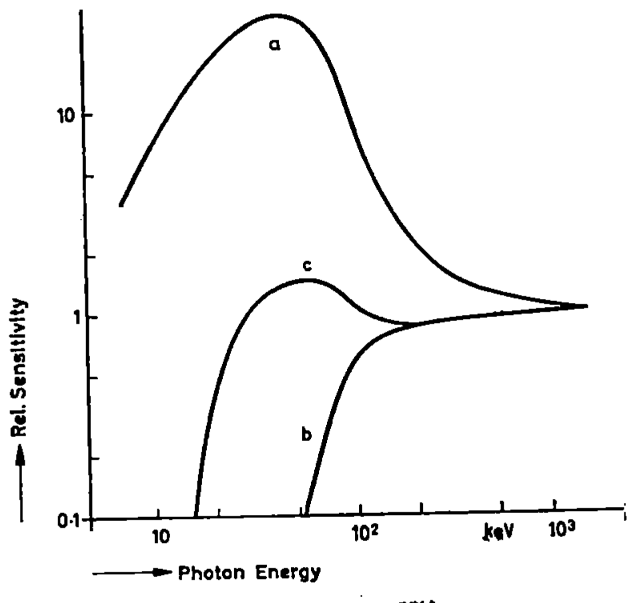


الشكل 6.2 ناتج الالكترونات الثانوية لعدد من المرشحات المعدنية

المصدر Kiefer and Maushart (1972) 77

كما ان استعمال عدة انواع من المرشحات ذات السمك المعين على التوالي امام الافلام لا يعطي اي تحسين ملموس بالاستجابة للطاقات الواطئة. ومن الممكن الحصول على عدم اعتماد على الطاقة مقداره ± 21% وحالة توازن الكتروني بمجال الطاقة المتراوح بين 115KeV و 10MeV (الشكل 7.2)

كما ان من الممكن تغطية الافلام بمرشحات معدنية مختلفة ذات اسماك مختلفة واشكال هندسية مختلفة موضوعه الواحد منها جنب الاخر يتم القياس الضوئي في كل منطقة مغطاة ويعطي ذلك متوسط الكثافة في تلك المنطقة.



طاقة الفوتون

الشكل 7.2 اعتماد الطاقة لاحد افلام قياس الاشعاع

أ ـ دون استعمال مرشح ب ـ باستعمال مرشحين احدهم سمكه 1.07 ملم قصديروالاخر رصاص سمكه 0.3 ملمتر. جـ ـ مجموعة فلمين مع وضع احد الافلام خلف الفلترين.

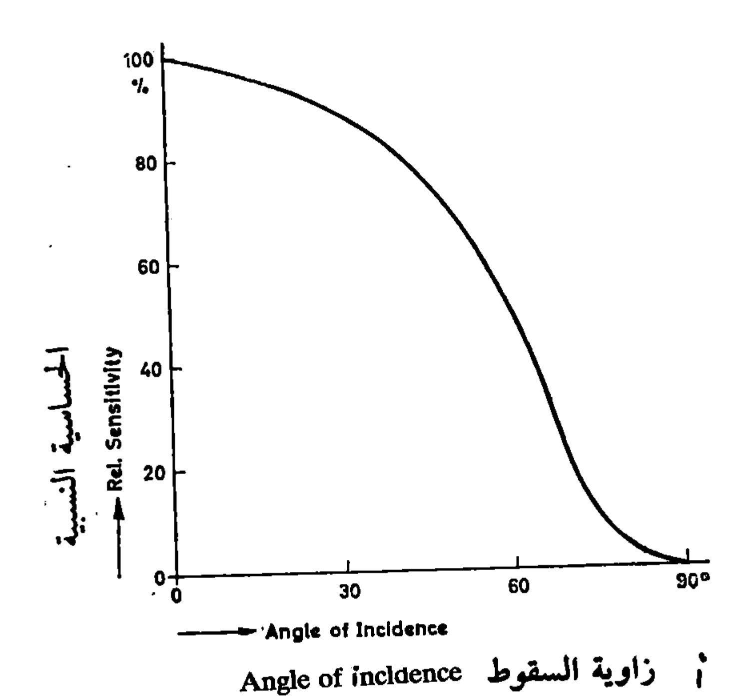
المصدر Kiefer and Maushart (1972) 77

والزيادة في الحساسية في مجال الطاقة الاقل من 100 KeV يمكن ان يحصل عليه بواسطة ترتيب فلمين لهما حساسيات مختلفة بين مرشحات مختلفة الواحد منها خلف الاخر وفي هذا الترتيب فان الفلمين يخضعان للقياس اما بان واحد (حساب مجموع الكثافة المباشر) او ان الكثافات المفردة يتم تقديرها

كما ان من الممكن الوصول على عدم اعتماد على الطاقة في احسن حالة ملائمة في مجال الطاقة 30KeV لغاية 2 MeV باستعمال تشكيلات اخرى من المرشحات .

ان احد المساوىء لاستعمال التعويضات بالمرشحات هو الاعتماد على الاتجاه في الافلام وذلك يمكن ان يسبب خطأ كبيراً وخاصة مع طاقات الاشعة السينية الواطئة (الشكل 8.2) .

ان الاعتماد على الاتجاه لدلالات الجرع يسبب كذلك اختلافات في الاعتماد على الطاقة مع اتجاه السقوط مما يسبب خطأ اضافيا في حساب الجرع بالطريقة المعتمدة على الطاقة لحساب جرع كاما (الشكل 9.2)



الشكل 8.2 القراءة المسجلة على افلام قياس الاشعاع بدلالة الاتجاه للاشعاع الساقط وباستعمال مرشح مع الفلم.

المصدر Kiefer and Maushart(972) 77



الفصل الثالث

التأثير البايولوجي للاشعاع

Biological Effect Of Radiation



الفصل الثالث
التأثير البايولوجي للاشعاع

لقد خضعت تأثيرات الاشعاع البايولوجية الى دراسات مستفيضة لعدد من السنوات وبالرغم من ذلك فأن التقدير الكمي للضرر الناتج عن تعرض البشر للجرع الاشعاعية صعبا جداً وخاصة في منطقة الجرع الاشعاعية الواطئة، كما انه حتى في حالة الجرع الاشعاعية العالية فان المعلومات غير مؤكدة. ان الاتجاه العام هو خفض قيم الجرع التي يعتقد انها تسبب خطورة وهذا ما تم عكسه في التشريعات المتعلقة بحماية العاملين والسكان من تأثير الاشعاع .

ومن الممكن التفريق بين تعرض الجسم باكمله (Whole body exposure) وتعرض الجسم الجزئي (Partial body exposure) حيث ان تعرض الجسم باكمله ربما يتم من عدة اتجاهات او من اتجاه واحد فقط ويمثل التعرض الاول التعرض الى المتساقطات المشعة الناتجة من التفجيرات والحوادث النووية (Fall – out) . اما التعرض من اتجاه واحد (Unidirectioal exposure) فأنه ينتج عادة من مصدر مشع واحد. من المهم جدا التفريق بين كمية الاشعاع التي تصل الى سطح الجسم وكمية الاشعاع التي تصل الى مختلف الاعضاء داخل الجسم.ان سبب اختلاف هذه الكميات يعود الى التفاعل الفيزياوي بين الاشعاع والذرات داخل الجسم عند مرور الاشعاع من خلالها حيث يتم توهين (Attenuation) شدة (Intensity) الاشعاع . ان مقدار التوهين يعتمد على خاصية الاشعاع (النوع والطاقة) ويعتمد كذلك على حجم الجسم وعلى عمق العضو المعين.هنالك مفهوم يستعمل في علم الاحياء الاشعاعي وهو متوسط الجرع (Mean dose) لكافة الانسجة ويستعمل هذا المصطلح لتقدير الضرر الناتج عن تعرض الجسم كله.ان هذه تمثل بجرعة الانسجة الوسطية كذلك لكافة الانسجة (Midline tissue dose) . ان التفريق

بين الجرع السطحية للانسجة والجرع الوسطية للانسجة مهم جدا وخاصة عندما يكون السكان المعرضون مؤلفين من اشخاص باعمار مختلفة ويضمنهم الاطفال ومثال على ذلك ان اشعة كاما تعطي متوسط جرعة 1230 لنخاع العظام للبالغين تقدر بـ 53% من الجرعة على سطح النسيج ولكن هذه الجرعة تكون 63% لطفل بعمر خمس سنوات و 70% من الجرعة السطحية للانسجة للمولود الجديد.

اما بالنسبة الى النيوترونات فان الاختلافات تكون اكبر وعندما تضاف هذه الى حساسية الاطفال الداخلية الى الاشعاع فان ذلك قد يعني الفرق بين الموت والحياة اي بمعنى ان مستوى التعرض الخارجي للاشعاع الذي قد لا يسبب اي وفيات للبالغين ربما يؤدي الى موت مؤكد للاطفال ونستخلص من ذلك ان احتمال بقاء الاطفال والرضع احياء بنتيجة التعرض الى جرع عالية من الاشعاع يكون اقل كثيرا من البالغين بنفس المستويات من التعرض.

1.3 تأثيرات الاشعاع القصيرة الامد (الحاد)

تظهر اعراض تأثير التعرض القصير الامد الى الاشعاع سريعا بعد التعرض الى الاشعاع وخلال ساعة او ساعتين ولربما بعد عدة دقائق من التعرض الى الاشعاع العالي جداً ولكن الموت بسبب التعرض قد لا يحدث الا بعد مرور شهرين حيث استدل على ذلك من ضحايا القنابل الذرية في اليابان وقد يمتد الى اطول من ذلك كثيرا ولربما لعدة سنوات مما يؤدي الى عدم وجود حدود فاصلة بين التأثير الطويل الامد والتأثير القصير الامد، ومن اهم اعراض التعرض القصير الامد للاشعاع هو حدوث مرض الاشعاع (Prod-romal Syndrome) الذي تكون اعراضه الابتدائية فقدان الشهية للطعام (Anorexia) والغثيان (nausea) والصداع. ان هذا المرض يحدث عندما يتعرض كافة الجسم او اجزاء كبيرة منه خلال وقت قصير الى جرع اشعاعية عالية تبلغ نحو 0.2 غراي او اكثر وعند وصول الجرع الى 1 غراي فان

الاعراض قد تختفي سريعا ويتم الشفاء ظاهريا وبزيادة هذه الجرع فان الموت يزداد حتى يصل الى نسبة 100% ويحدث هذا بجرعة 5 غراي (جرعة وسط الانسجة) ويمثل (الجدول 1.3) الجرع المتسلمة في التعرض القصير الامد وتأثيراتها. ان بعض الاشخاص الاصحاء البالغين قد ينجون حتى في حالة تجاوز الجرع 5 غراي وذلك في حالة توفر معالجة خاصة . ان الموت الناتج من التعرض الى جرع 1-5 . غراي يكون سببه الاساسي تلف الانسجة المولدة للدم وفي الجرع الاعلى يرجع سبب الوفاة الى حدوث خلل في الجهاز الهضمي (Gastero – intestinal system) وعند ارتفاع الجرع اكثر فأن الموت يكون بسبب تلف الجهاز العصبي المركزي. ان زمن الوفاة يعتمد على مقدار الجرعة ويمثل (الشكل 1.3) منحنى بيانيا لزمن الوفاة بدلالة الجرع الاشعاعية لكافة الجسم. ان هذا المنحنى قد تم التوصل اليه استنادا الى التجارب التي اجريت على اللبائن وهو يمثل تقريباً تقديرياً.

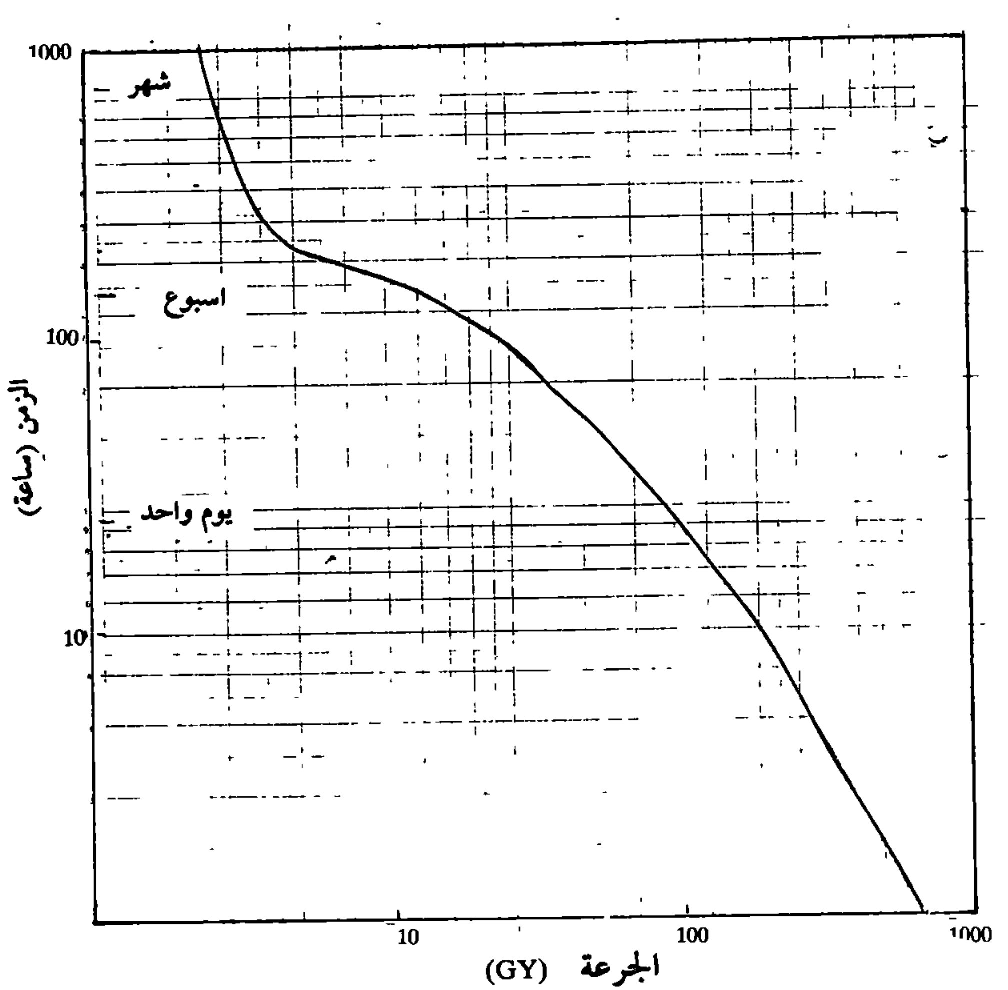
*****

الجدول 1.3 الجرع الاشعاعية المتسلمة في التعرض القصير الامد (الحاد) واعراضها

		١ — ١٥ غراي				
المدى	0 -1 غراي	1– 2غراي	2 – 6 غراي		6 – 10 غراي	المدى المميت اكثر من 10 غراي ١٥-٥٠ غراي اكثر من 50 غراي
ظهور التقيؤ	لا يوجد	١ -غراي ٥٪ 2 غراي 50%	3 غراي 10%		100%	100%
الفترة قبل ظهور التقيؤ الغثيان	-	3 ساعات	ساعتين		ساعة واحدة	30 دقيقة
العضو الرئيس	لا يوجد	انسجة توليد الدم			القناة الهضمية	الجهاز العصبي المركزي
الاعراض الخاصة	—	نقص متوسط في كريات الدم البيضاء من 3 غراي	نقص حاد في كريات الدم البيضاء مرض تبقع الجلد. والنزف والاصابة بالامراض وتساقط الشعر اكثر		الاسهال والحمى واختلال توازن الاملاح	آلام وارتجاف والتخلج والكسل
الفترة الحرجة بعد التعرض	—	—	4 — ٥ اسابيع		5 – 14 يوم	1 – 48 ساعة
زمن الشفاء	—	بضعة اسابيع	6 – 18 اسابيع ٢-٤	طويل		
الموت	0	0	0 – 80%	80 – 100%	90 – 100%	100%
زمن الموت	—	—	شهرين		اسبوعين	يومين
سبب الموت	—	—	نزف والاصابة بالامراض		التهاب الامعاء والقولون	تلف جهاز الدوران والجهاز العصبي

المصدر ICRP 28 (1978) 54

من الممكن تمييز ثلاثة مناطق في هذا المنحنى البياني فعند 20 غراي او اكثر يتناقص زمن حدوث الموت بصورة سريعة مع ازدياد الجرع وعندما تكون الجرع الاشعاعية عالية جدا فان الموت يحدث بسرعة خلال ساعات او دقائق اما المجالّ الثاني فأنه يغطي الجرع 5 - 20 غراي حيث يتغير زمن الموت بصورة اقل كثيراً مع الجرع ويتم الموت عادة خلال اسبوع واحد اما بالنسبة الى المجال الثالث الذي هو 5 غراي واقل فأن زمن الموت يتغير بصورة اسرع حيث يتراوح بين عدة اسابيع الى عدة اشهر مع زيادة احتمالية البقاء بانخفاض الجرع ، تختلف استجابة البشر فيما بينهم للتعرض الاشعاعي اختلافا كبيرا .



الشكل 1.3 شكل بياني يمثل زمن الوفاة بدلالة الجرع الاشعاعية

المصدر : P.D. Markovic (1977) 85

ان الحالة الصحية العامة والتركيب الوراثي قد يؤديان عند تعرض عدد من الناس الى نفس الجرع الاشعاعية الى ان تظهر على البعض اعراض مرض الاشعاع الذي يدعى كذلك (Radiation sickness) بينما لا تظهر في البعض الاخر، ولهذا في حساب احتمال حدوث الاعراض فانه يجب اتباع طرائق احصائية متخصصة كما موضح في الجدول 2.3 .

ان تعاقب حدوث الاعراض وزمن حدوثها وشدتها ربما يعطي بعض المعلومات عن الجرع فيما اذا كانت غير معروفة. ان الاعراض تظهر بصورة اسرع كلما زادت الجرع الاشعاعية ويكون تأثيرها اشد كذلك وعندما تكون الجرع متوسطة فأن الاعراض تختفي بعد ايام قليلة ويشعر المتعرض بالتحسن بعد اسبوع او اقل قد تظهر الاعراض مرة اخرى مصحوبة باعراض مرضية اخرى حيث قد يؤدى ذلك الى الموت في حالة كون الجرع الاشعاعية عالية بمافيه الكفاية.

الجدول 2.3 جرعات الاشعاع المسببة لاعراض مرض الاشعاع

الاعراض والعلامات المرضية	النسبة المئوية للسكان المعرضين		
	%10	%50	%90
	غراي	(gray)	
فقدان الشهية	0.4	1.[illegible]	2.4
الغثيان	0.5	1.[illegible]	3.2
التقيؤ	0.6	2.1	3.8
الاسهال	0.9	2.4	3.9

ان التقيؤ المستمر خلال اول يومين وكذلك حصول الاسهال يدل على التعرض الشديد. ان المعرضين الذين يصعب تهدئة غثيانهم واسهالهم يموتون عادة.

المصدر 130 منظمة الصحة العالمية (1984)

1.1.3 التأثير في جهاز تكوين الدم
(Effect on the blood forming system)

ان التأثير القاتل الرئيس للاشعاع يحدث بواسطة الفعل المتلف للخلايا التي يصنع منها الجسم وعندما تكون الجرع الاشعاعية عالية فأن الطاقة الداخلة الى الخلايا تكون كافية لتحطيمها كليا ولكن الجرع الاقل كثيراً قد تؤدي الى ايقاف عملية الانقسام الخيطي (Mitosis) الذي يؤدي الى ايقاف الخلايا عن الانقسام واذا بقيت خلايا قليلة جدا قابلة للانقسام فأن الكائن الحي لا يستطيع القيام بفعالياته الحيوية ولذلك يحدث الموت.

من اهم تأثيرات الاشعاع على الخلايا ما يحدث على الانسجة المكونة للدم وخاصة خلايا نخاع العظام الحساسة للاشعاع (Bone marrow stem cells) والخلايا اللمفاوية (Lymphocytes) . ان حساسية الخلايا اللمفاوية كبيرة جدا الى درجة انه حتى جرعة 0.1 غراي قد تؤدي الى حدوث اعراض غير طبيعية في تركيبها وان جرعة 2.5 غراي قد تؤدي الى خفض عددها الى اقل من 10 بالمائة اما خلايا الدم الاخرى فأنها تكون اقل حساسية ولكن يجب ان تجدد بصورة مستمرة.ان تلف نخاع العظام يؤدي الى منع تكوين كل انواع خلايا الدم ومن اكثر التغييرات ملاحظة عند التعرض للاشعاع انخفاض عدد كريات الدم البيضاء التي تكون واجباتها مقاومة الالتهابات وازالة المركبات السمية من الجسم حيث يؤدي انخفاضها بصورة كبيرة في الجسم الى ضعف الكائن الحي وتعرضه للاصابة (Infection) بالمرض. اما الاقراص الدموية (Platelets) التي تؤدي دوراً مهما في تخثر الدم فينخفض عددها بصورة كبيرة ويؤدي ذلك الى النزيف وتبقع الجلد الارجواني (purpora) وكذلك انخفاض انتاج خلايا الدم الحمراء يؤدي الى فقر الدم الشديد عندما تتراوح الجرع الاشعاعية بين واحد وخمسة غراي.

والاعراض الابتدائية لمرضى الاشعاع قد تكون مصحوبة باعراض مرضية اخرى في حالة تحطم عدد كبير من خلايا ساق نخاع العظام وهذه

الاعراض هي نزف تحت الجلد ونزف الفم ونزف في الاعضاء الداخلية ولكن المتعرض اكثر يكون عرضة للاصابة التي تؤدي الى ارتفاع درجة الحرارة وهزال شديد وهذيان نتيجة الحمى التي تؤدي عادة الى الموت بعد فترة نحو 6 اسابيع .

2.1.3 التأثير في الجهاز الهضمي

ان الموت يحدث في مجال الجرع 5 - 20 غراي بصورة مبكرة بسبب التغييرات التي تحدث في الجهاز الهضمي . ان معدل انقسام الخلايا المبطنة لتجويف الامعاء ينخفض خلال دقائق من التعرض حيث يموت قسم كبير منها وعندما لا يتم التعويض عن الخلايا الميتة فان الشعيرات (villi) تتقلص وبعد ذلك يحدث تقرح (ulceration) الذي يتبعه الالتهاب الغنغريني (Gangerous inflamation) الذي يولد حمى عالية ويستمر الاسهال ويتطور بحيث يصبح الغائط دمويا بدلا من عادي وبعد ذلك تنتفخ البطن بصورة غير طبيعية وتفقد سوائل الجسم ويصاب المعرضون بعدها بغيبوبة وينتج الموت عادة من الالتهاب المعوي وتسمم الدم واختلال في توازن سوائل الجسم .
ان فرص البقاء بعد التعرض الى هذه الجرع يكاد يكون معدوما .

3.1.3 التأثير في الجهاز العصبي المركزي
(Effect on central nervous system)

ان التعرض للجرع العالية جدا والتي تبلغ 20 غراي واكثر تسبب الموت نتيجة التغييرات في الجهاز العصبي المركزي وهذه التغييرات تشمل تلف (Degenieration) خلايا الدماغ والاستسقاء الدماغي والتهاب الاوعية الدماغية .

4.1.3 التأثير الحاد على الرئة (Acute lung effect)

ان الموت الناتج عن الفعل الحاد للاشعاع قد يحدث نتيجة التعرض الداخلي الناتج عن استنشاق المواد المشعة كما ان ذلك يؤدي الى ظهور اعراض التعرض العالي للاشعاع في حالة ارتفاع الجرع الاشعاعية المتسلمة من قبل نسيج الرئة وقد يؤدي الى الموت كذلك. ان هذه التأثيرات لا علاقة لها بالتأثيرات الاخرى الناتجة عن التعرض الاشعاعي كالتليف وسرطان الرئة التي قد تحدث نتيجة التعرض الى جرع اشعاعية اقل كثيراً.والتأثير في حالة التعرض العالي يكون نتيجة فعل الاشعاع المباشر على جدران الرئة وعلى الفعل التالف لخلايا الرئة حيث يؤثر الاول في نفاذية اغشية الاكياس الهوائية (Alveoli) مما يؤدي الى تسرب السوائل منها ويصاحب ذلك اعراض السعال والنفس القصير. انّ التأثير في الرئة يشمل كذلك احتقان الاكياس الهوائية التي فيها مما ينتج عنه انخفاض في عملية تبادل الغازات مع حدوث (Hypoxia) وحدوث نزف في التجويف السنخي (Alveoler space) مما ينتج عنه بصاق ملوث بالدم وفقدان افرازات الفعالية السطحية (Surface acting secretion) ويؤدي الى تحطم الاكياس الهوائية وتصلب الرئة مع فقدان الرئة لقابليتها على المناعة مما يجعلها عرضة للاصابة بمرض ذات الرئة (Pneumonia) .

ان سبب الوفاة ربما يكون كذلك بسبب عجز القلب نتيجة قلة الاوكسجين او لمرض ذات الرئة او لتسمم الدم (Toxaemia). ان زمن الموت ربما يكون بعد عدة اشهر من الاستنشاق ويعتمد ذلك على العمر والظروف البيئية وتوفر العلاج. ان الجرعة المميتة للرئة هي بحدود 10 - 20 غراي بالاضافة الى ان التأثير المتجمع المتعاضد (Synergistic) لهذه التعرضات يؤدي الى تطور المرضى الى حالة اكثر سوء وتحت هذه الظروف فأن الجرع الاشعاعية الاقل قد تكون مميتة كذلك.

5.1.3 التأثيرات الاخرى للتعرض الحاد

بالاضافة الى اعراض مرض الاشعاع الانيـة فأن الاشخـاص الذين ينجون من الموت تظهر عليهم بعض الاعراض العابرة اولها التأثير الحاصل في الجلد والذي لوحظ منـذ الايام الاولى لاكتشـاف الاشعة السينيـة. أن تأثـير الاشعاع هذا مشابه لتأثير لفحة الشمس (Sun burn) ولكنه يمتد لعمق اكبر. وعندما تكون الجرع الاشعاعية عالية فأن التأثير ربما يظهر خلال دقائق ويكون مصحوباً بحكة وتقشر وألم ويستغرق ظهور الاعراض فترة اطول قد تبلغ 10 ايام عند التعرض الى جرع اشعاعية اقل.

ان الاشعة ذات طاقة الانتقال الخطي الواطئة (Low LET) تسبب التهابا للجلد بعد التعرض الى جرعة إشعاعية واحدة مقدارهـا 3 غراي وتسبب جرعة 6 غراي التهاب الجلد في 50% من المتعرضين للاشعاع. اما النيوترونات فأن التهاب الجلد يبدأ بجرع اشعاعية اقل حيث تؤدي جـرعة 2 غراي الى اصابة 50% من المتعرضين. أن التهاب الجلد يكون طفيفاً عند التعرض الى جرع اشعاعية واطئة ويختفي تدريجياً. أما اذا زادت الجرعة عن 10 غراي فأن القروح في الجلد تسوء بمرور الزمن محدثة بعض التغيرات المتلفـة (المـدهـورة) (Necrobiotic changes) وتشمـل هـذه التغيـيرات التقشر (scaling) والترطب (Weeping) وتكسر الجلد (Sloughing) وقد يسبب ذلك ندباً دائمية يصاحبها تورمات خفيفة.

ان الجلد قد يتعرض الى جرع اشعاعية عالية نتيجة تساقط المواد المشعة المطلقة لجسيمات بيتا حيث تسبب حروقاً تدعى (Beta burns).

من الاعراض الأخرى للتعرض العالي (الحاد) للأشعـاع غير المسبب للموت هو تساقط الشعر (Epilation) الذي قد يبدأ بعد اسبوعين من تعرض فروة الرأس الى جرع اشعاعية تبلغ 3 غراي أو أكثر. أن الشفاء يحدث بعد عدة أشهر من التعرض ما عدا الجرع الأشعاعية العـالية جـداً حيث يكون

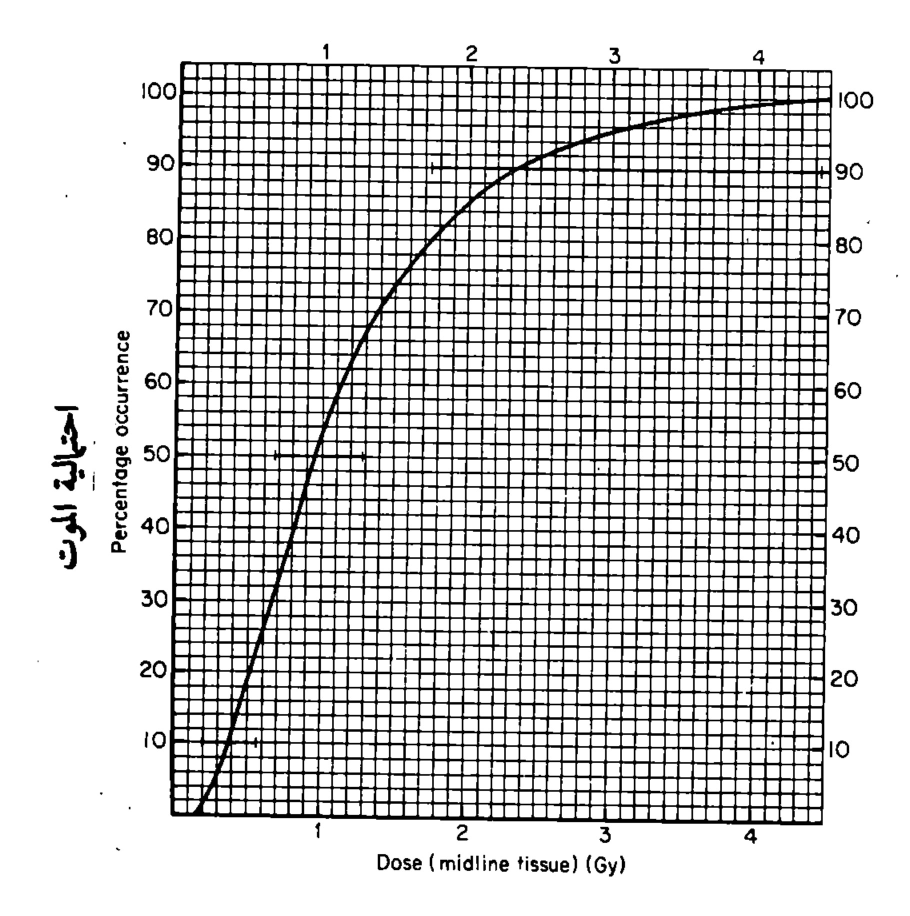
فقدان الشعر نهائياً.

يؤدي تعرض الجهاز التناسلي للأشعة الى تأثيرات وقتية أو دائمية اعتماداً على جنس المتعرض. وجد ان هنالك اختلافاً كبيراً بين الذكور والأناث. ففي الذكور تستنفد الخلايا المولدة للحيامن مما يؤدي الى فقدان الأخصاب والعقم. أن العقم قد يكون مؤقتاً ويحدث نتيجة التعرض الى جرع اشعاعية تقل عن 0.3 غراي وكلما زادت الجرعة زاد الوقت اللازم للشفاء. ومع هذا فأن الشفاء لا يتم في جميع الحالات. اما في النساء فأن الاشعاع قد يسبب تلفاً لا يمكن اصلاحه في الخلايا المولدة للبيوض (Oocytes) وبهذا فأن العقم ينتج بعد التعرض الى جرع اشعاعية عالية واعتماداً على العمر الذي تم فيه التعرض الا انه يجدر الأشارة الى التعرض الى جرع تقرب من 6 غراي فأنه يحصل عقم كامل للنساء بغض النظر عن العمر.

2.3 الجرعة المتوسطة القاتلة (Median lethal dose)

يختلف رد الفعل للجرع التي تتراوح بين 1 - 5 غراي من فرد الى آخر حيث يموت البعض وينجو منها البعض الآخر ويعود في هذه الحالة عدد خلايا الدم الى طبيعته بعد عدة اشهر ويظهر على الخلايا الشفاء ظاهرياً ويبقى احتمال حدوث خطر التأثير الطويل الامد (المزمن) (Long term effects) قائماً. ويستعمل بذلك الاسلوب الاحصائي لغرض حساب احتمالية الموت او البقاء. والشكل 2.3 يمثل النسبة المئوية للاشخاص الذين يحتمل ان يموتوا من بين عدد كبير من المتعرضين لجرع اشعاعية معينة. ان النقطة الوسطية للمنحنى البياني تمثل الجرعة التي تعطي احتمالية 50% للموت أو البقاء خلال اسابيع قليلة من التعرض. ان هذه النقطة تدعى الجرعة المتوسطة القاتلة ورمزها LD - 50 وهي تشكل مقياساً مهماً. لقد حسبت هذه القيمة للانسان وهي تمثل 2.5 غراي (الشكل 2.3) الذي ينطبق على تشعيع

عموم الجسم للبالغين. ان الظاهرة المميزة في المنحنى البياني هي التدرج الحاد بين مجال قليل من الجرع 0.9 - 4 غراي) ترتفع فيه احتمالية المـوت من 10% الى 90% .



جرع الخط النسيج الوسط Gy

الشكل 2.3 احتمالية الموت من التأثير القصير الامد للاشعاع

3.3 العوامل المؤثرة على البقاء بعد التعرض الحاد للاشعاع

تلعب العوامل الفيزياوية والحياتية دوراً هاماً في تحوير قيمة الـ LD -50 في البشر المعرضين لجرع كبيرة وحادة من الاشعاع.ومن العوامل الفيزياوية نوع الاشعة ومعدل استلام الجرعة. ان استلام الجرع بمعدلات سريعة يؤثر بصورة كبيرة في حدوث الاعراض الابتدائية للتعرض الى الاشعاع وعلى قيمة LD – 50 وتدل التجربة المكتسبة من المعالجة بالاشعة (Radiotherapy) على ان اطالة التعرض اما باعطاء جرع اشعاعية بطيئة او تجزئة الجرعة الى عدد من الجرع بفواصل زمنية يتطلب زيادة الجرعة الكلية لغرض الوصول الى نفس التأثير لجرعة تعطى لفترة قصيرة من الزمن وهذا يدل على ان التلف الحادث في الانسجة يمكن اصلاحه لمدى معين في الفترة الواقعة بين جرعتين أو خلال فترة التعرض لمدة طويلة من الزمن. ان تعرض نسبة من الجسم الى حجم الجسم الكلي يعتبر من اهم العوامل البايولوجية، فبعض اجزاء الجسم كالاطراف مثلا تتحمل جرعاً اشعاعية اعلى كثيرا قبل ان تظهر اعراض التعرض الحاد عليها مقارنة بتعرض عموم الجسم كما ان قيمة الـ LD – 50 ترتفع كذلك عندما يكون جزءا من الجسم محميا بدرع واق او انه تسلم جرعة اقل وكلما كبرت نسبة نخاع العظام المحمي من الاشعاع زادت الفرصة للبقاء حيا.

يعتبر العمر عند التعرض عاملا حيويا مهما حيث يظهر ان الحساسية للاشعاع تكون على اشدها في الاعمار الصغيرة جدا والكبيرة جدا وتكون LD – 50 لهاتين الشريحتين السكانيتين اقل من الاشخاص البالغين في اواسط العمر بالاضافة الى حساسية الاطفال للاشعاع.

4.3 التأثير الجسمي للتعرض الطويل الأمد (المزمن)
(Long term somatic effects)

لا يؤدي التعرض الى الجرع الإشعاعية الواطئة الى ظهور اعراض مبكرة ولهذا فقد كان يظن ان مثل هذه الجرع الاشعاعية لا تسبب ضررا الا انه قد ثبت ان هذا الظن في غير محله، والجرع الاشعاعية الواطئة قد تسبب تلفا لعدد من الخلايا لكن معظم هذا التلف (وخاصة ذلك الناتج من التعرض الى الاشعة السينية واشعة كاما) يمكن اصلاحه بواسطة الجسم عن طريق بعض الانزيمات وقد يبقى جزءا منه و يتطور مؤديا الى عدة امراض.

يخضع التلف الكامن في الخلايا الجسمية نتيجة التعرض الى جرع اشعاعيةواطئة لنظريةالاحتماليةوهذا يعني انه تحدث تأثيرات بصورة عشوائية في المجتمع المشعع. ان تكرار حدوث تأثير معين يتناسب مع قيمة الجرعة ولكن شدة التأثير لا تعتمد على هذه الجرع الاشعاعية. ان هذه تدعى التأثيرات العشوائية (Stochastic effects) حيث لا يوجد حد حرجلها اي انها يحتمل ان تحدث عند التعرض لاي جرعة اشعاعية ومن هذه التأثيرات ما يلي.

1.4.3 الحث على تكوين مرض السرطان
(Induction of cancer)

من اكثر التأثيرات العشوائية حدوثا عند التعرض الى الجرع الواطئة للاشعاع والتي تسبب التلف الجسمي هو الفعل المؤدي الى السرطان (Carcinogenesis) الذي يستند اليه عادة في تقدير الضرر والخطورة الناتجة من التعرض الى الجرع الاشعاعية الواطئة.

لقد عرفت الاصابة بمرض السرطان دون ان يعرف السبب نتيجة التعرض الى الاشعاع قبل اكتشافه. ومن هذه الحوادث سرطان الرئة الذي كان

يعرف بانه يصيب العاملين في مناجم اليورانيوم الذين يستنشقون الغاز المشع الرادون. لقد كان يعتقد في السنوات الاولى بان الجرع الاشعاعية العالية هي المسؤولة فقط عن تسبيب مرض السرطان وانه كان هنالك حد لجرعة امينة لا يحدث عندها الحث على تكوين اي مرض سرطاني الا ان الغالبية العظمى من العلماء قد نبذوا هذه الفكرة والاعتقاد السائد الان ان اي جرعة مهما كانت قليلة يحتمل ان تحفز حدوث مرض السرطان. ولكن هنالك اختلاف كبير في الرأي حول مقدار تأثير الجرع القليلة. ان السبب في هذا الاختلاف يعود الى ان مرض السرطان الذي ينتج بسبب الحث الاشعاعي لا يختلف باعراضه وتطوره عن الامراض السرطانية التي تحدث في غير المتعرضين الى الاشعاع والتي ربما تحدث من المواد الاخرى التي تحفز مرض السرطان (Carcinogenic agents) او بواسطة الحث الذاتي (Spontaneous) وبما ان الزيادة في نسبة المصابين بمرض السرطان نتيجة التعرض الى الجرع الاشعاعية الواطئة تكون قليلة جداً مقارنة بعدد الاشخاص المصابين بمرض السرطان غير المعرضين الى الاشعاع فانه يصعب ملاحظتها نتيجة التذبذب الأحصائي.

كما ان الجرع الاشعاعية العالية تعطي تحفيزا اوضح للاصابة بمرض السرطان ولذلك فان الطريقة العملية الوحيدة لتقدير الحث على حدوث مرض السرطان للجرع الواطئة هي تمديد المقياس (Extrqpolation) ولكن تمديد المقياس له مشاكله ايضا وذلك لان المنحنى البياني لعلاقة حدوث مرض السرطان بالجرع الاشعاعية غير متفق عليه بالاضافة الى ان الجرع الاشعاعية المتسلمة من قبل الاشخاص المعرضين في معظم الحالات لم يجر تخمينها بصورة دقيقة ويعاد النظر حاليا في مقاييس الجرع التي استعملت لتقدير الضرر للمصابين في مدينتي هيروشيما وناكازاكي اليابانيتين كما ان النماذج المتعرضة اشعاعيا والخاضعة للدراسة تتفاوت بدرجة كبيرة بالنسبة لزمن التعرض والجنس وتعرض عموم الجسم او اجزاء منه.

هنالك فترة كامنة (Latent period) بين حدوث التعرض للاشعاع وظهور مرض السرطان وتختلف هذه الفترة الكامنة حسب نوع المرض

السرطاني والعمر عند التشعيع والجرع الأشعاعية وفيما يخص مرض سرطان الدم (Leukemia) فان الفترة الكامنة للبالغين هي 5 سنوات ولكن لانواع اخرى من الامراض السرطانية فان الفترة الكامنة تكون نحو 15 سنة ان مثلا بسيطا يمكن ان يوضح الحالة في الوقت الـراهن هو التقـرير (BEIR111) الذي اصدرته اكاديمية العلوم الامريكية.

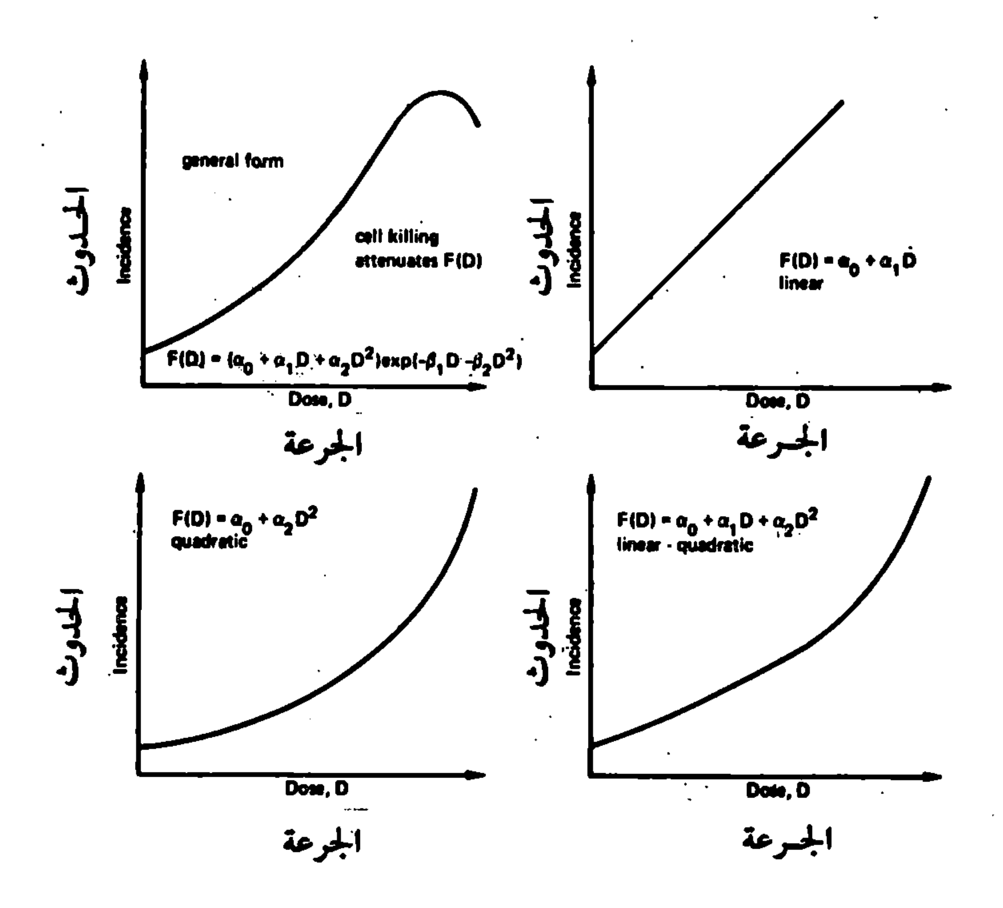
(U.S National Academy of Science)

حيث تحفظ على المادة المتعلقة بتأثير الاشعاع على حث ظهور مرض السرطان بعض اعضاء اللجنة بعد صدوره مما حدا الاكاديمية الى سحبه.

هنالك عدة منحنيات لعلاقة الجرعة بسلوك الحث على مرض السرطان (الشكل 3.3) ان المنحنى أ يمثل علاقة خطية والمنحنى جـ هو من الدرجة الثانية (Quadratic) حيث تتنـاسب الزيـادة في حـدوث حـالات مـرض السرطان مع مربع الجرع اما النوع ب فانه يمثل امتزاج الحالتين أ وجـ وهو يمثل علاقة خطية من الدرجة الثانيـة (Linear quddratic) وهذا يعني ان حدوث مرض السرطان في المرحلة الابتدائية يزداد نسبة الى الجرع وبعدهـا يصبح معدل الزيادة اسرع واخيرا يصبح متناسبا مع مربع الجرع.

هنـالك اتفـاق على مـا يبدو عـلى ان الاشعة نـوع LET العـاليـة كالنيوترونات مثلا تنطبق عليها العلاقة الخطية وكذلك الحال لاشعة LET الواطئة كاشعة كاما لبعض الانواع من الامراض السرطانية ولهذا يمكن القول انه لاغراض الوقاية من الاشعاع فان العلاقة الخطية التي ليس لها حد حرج هي المقبولة.

ومن الممكن تلخيص عوامل الخطورة للاصابة بمرض السرطان نتيجة التعرض الى الاشعاع (بالجدول 3.3)



الشكل 3.3 منحنيات الجرع والاستجابة

المصدر NCRP (1981) 105

الجدول 3.3 معامل الخطورة لامراض السرطان المميتة والعيوب الوراثية

النسيج	الخطورة 1 / سيفرت
[×](الغدد) الانسجة التناسلية	$40x10^{-4}$
الثدي	$25x10^{-4}$
نخاع العظام الاحمر	$20x10^{-4}$
الرئة	$20x10^{-4}$
الغدة الدرقية	$5x10^{-4}$
العظام	$5x10^{-4}$
جميع الانسجة الاخرى وغير محددة	$50x10^{-4}$

× العيوب الوراثية في اول جيلين

المصدر 1CRP 40 (1984) 64

كما ان مجموع الخطورة الواردة في الجدول يصل الى 12.5×10^{-3} حالة مرض سرطان مختلفة لكل سيفرت واحد وهذا يعني انه اذا تعرض مجتمع عدد سكانه مليون شخص الى جرعة اشعاعية مقدارها سيفرت واحد فان 12.5×10^{3} منهم يتوقع ان يموتوا بالامراض السرطانية الذي حث الاشعاع على حدوثها ومن الممكن ان يكون الحث ضعف هذا العدد عند الاخذ بنظر الاعتبار الامراض السرطانية غير القاتلة وخاصة مرض سرطان الغدة الدرقية الذي تكون نسبة الوفيات للاصابة به قليلة.

2.4.3 الحث على حدوث عتمة عدسة العين

(Induction of cataracts)

من جملة التأثيرات العشوائية للاشعاع التأثير في العين. ان لعدسة العين حساسية كبيرة للاشعاع وان تعرضها له قد يسبب تعتم عدسة العين (Lens opacities) الذي يتفاوت في شدته من بقع صغيرة الى العمى الكلي.

ومن المعتقد ان جرعة 2 غراي تسبب عتمة واضحة لعدسة العين فيما يخص اشعة كاماوالاشعة السينية وتكون هذه القيمة اقل فيما يخص النيوترونات كما ان الفترة الكامنة بين التعرض وظهور العتمة يتراوح بين ١- 10 سنة وقد تكون العتمة دائمية او مؤقتة وهذا يعتمد بالطبع على مقدار الجرع الاشعاعية المتسلمة.

3.4.3 تقصير الحياة (Life shortening)

لقد وجد ان تشعيع جميع اجسام الحيوانات يؤدي الى تقصير عمرها وهناك علاقة خطية بين الجرع والسلوك لتلك الجرع حيث انه يحدث تقصير للحياة بنسبة 5% لكل جرعة غراي واحد. ان تقصير الحياة هذه قد ينتج من حدوث مرض السرطان بصورة مبكرة او زيادة في حدوث الامراض غير

الخبيثة وان هذا النوع من التأثير يعتبر تأثيرا غير متخصص (Non specific effect) قد يؤدي الى الشيخوخة المبكرة (Premature aging) في البشر. لقد دلت بعض الدراسات على ان عمر المعالجين بالاشعة (Radiologists) في الولايات المتحدة الامريكية الذين تسلموا جرعاً اشعاعية عالية بحكم مهنهم كان اقل بصورة ملموسة من ذوي الاختصاصات الاخرى.

5.3 تأثير التعرض اثناء الحمل

ان الاجنة البشرية حساسة للتعرض الاشعاعي وقد ثبت ذلك نتيجة التغييرات الخلقية غير المرغوبة التي اصابت اطفال الامهات المعرضات للاشعة المؤينة خلال فترة الحمل بالاضافة الى حدوث ولادات لاطفال ميتين في مدينتي هيروشيما وناكازاكي وان نسباً عالية من الاطفال المتخلفين عقليا والمشوهين خلقيا قد لوحظت كذلك

ان التعرض في مرحلة الحمل يؤثر على نوعية وتكرار العيوب ويكون الخطر من تشوه الخلقة في المراحل الاولى من الحمل على اشده اما موت الجنين فانه يزداد عند التعرض الى الاشعاع في مراحل الحمل المتاخرة. ان التعرض الى الاشعاع خلال فترة الحمل يزيد كذلك من الحث على حدوث مرض السرطان في اطفال النساء المتعرضات.

6.3 التأثيرات الوراثية (Genetic effects)

لقدكان التأثير الوراثي احد المسائل الاساسية المثيرة للقلق فيما يخص التعرض الى مستويات واطئة من الاشعاع.

فقد اكتشف العالم Muller تأثير الاشعاع لتوليد الطفرات الوراثية وقد بدأ في عام 1927 حملة لايضاح مخاطر الاشعاع الوراثية حيث نبه على المخاطر الوراثية المحتملة للتعرض الى الجرع الاشعاعية الواطئة جداً.

ان التأثيرات الوراثية قد طغت في فترة مبكرة من الزمن على التفكير السائد في لجنة BEIR الاولى وعلى كراسات الهيئة الوطنية الامريكية للوقاية من الاشعاع NCRP وعلى توصيات هيئة البحوث البريطانية

(British Medical Research Council)

اما في الاونة الاخيرة فان الاعتبارات الجسيمة قد طغت على الاعتبارات الوراثية بحيث اصبح لها وزن اكبر في وضع اسس ومقاييس الوقاية من الاشعاع.

لقد كانت المعلومات حول التأثير الوراثي في الخمسينات ابسط مما عليه الان وذلك لقلة المعلومات عندئذ عن اختلاف الجنس والانسجة وانظمة التصليح (Repair systems) او تأثير سرعة عطاء الجرع حيث ان معظم المعلومات الكمية استنبطت من الدراسات التي اجريت على الحيمن الناضج الذي شعع في ذبابة الفاكهة (Drosophila). وقد اعتقد في حينه ان تلك النتائج تمثل حالة عامة واسعة الانتشار ولكن الدراسات التي اجريت من قبل العالم Russell شككت بالحالة العامة المستنبطة من تعريض حيامن ذبابة الفاكهة. لقد ادرك بعدئذ ان لها خصوصية بعدة امور منها التمثيل الغذائي (Metabolism) وانظمة التصليح والخواص الاخرى التي لها علاقة بالتطفير الوراثي.

ان التقدم العلمي الرائع الذي حدث في علم الحياة الجزيئي (Molecular biology) قد زعزع الثقة السائدة بالتقدير الكمي للخطورة الوراثية على الانسان بدلا من ان يزيدها.

هنالك ابهامان رئيسان في تقدير الخطورة الوراثية اولهما ان المعلومات من الطفرات المحفزة (Induced mutation) في البشر ضيئلة جدا ولو تركنا بعض المعلومات المتعلقة بتكسر الكروموسومات جانبا فان كل التقديرات المتعلقة بتلف المادة الوراثية اي الحامض النووي DNA قد اتت من تمديد المقياس من حيوانات التجارب. لقد ظهر كثير من التوافق بين النتائج المستحصلة من عدة انواع من الحيوانات ولكن هنالك اختلافات ظهرت من

الناحية الكمية بحيث ان الافتراضات حول DNA البشري تعتبر غير مؤكدة وثانيهما انه حتى لو عرفنا التفاصيل الكاملة الدقيقة عن الذي يحدث في الـDNA الانساني بفعل الاشعاع فانه سوف تكون لنا فكرة ضيئلة عن تأثير هذه التغييرات للاجيال المقبلة.هنالك حاجة انية للاهتمام بدراسة الامراض الوراثية والتأثيرات الوراثية ترمز الى احتمال حدوث تغييرات في المواليد للاشخاص المعرضين للاشعاع او في اجيالهم المقبلة. هنالك نوعان من التلف الذي يمكن ان يحدث مثل هذه التغيرات هما الطفرة الوراثية في الجين (Gene mutation) حيث يحدث تغيير في احد الجينات او التكسر الكروموسومي (Chromosomal aberration) الذي قد يؤثر في عدد من الجينات بنفس الوقت ومن المعتقد بصورة عامة ان النوعين من التغييرات يكونان مؤذيين الى الخلف ولكن نوع ومقدار التلف يختلف بصورة كبيرة جدا. ويتراوح بين التغيير الذي لا يكاد يعرف والتغيير الذي يؤدي الى الموت.يؤدي الموت في الرحم او الموت في الطفولة الى ازالة هذا العيب من الخزين الوراثي(Genetic pool) للسكان بينما تنتقل العيوب غير المميتة من جيل الى جيل اخر. وبعض هذه الطفرات تكون متنحية (Recessive mutations) ولربما تحمل لعدد من الاجيال قبل ان يظهر تأثير الاشعاع.

كما ان اي عيب وراثي قد يظهر نتيجة التعرض للاشعاع ربما يحدث كذلك من جراء الطفرات الوراثية الاخرى الموجودة في السكان. وان 10% من الولادات يحتمل ان تكون حاملة لصفات وراثية ذات عيوب بصورة ذاتية وان التعرض للاشعاع يسبب زيادة في هذه العيوب ويعتمد ذلك على الجرع الاشعاعية .

ان التأثير الوراثي للاشعاع غالبا مايعبرعنه بمصطلح الجرعة المثنية (Doubling dose) والتي هي الجرعة الاشعاعية التي تضيف الى الخزين الوراثي نفس العدد من العيوب التي تحدث طبيعياً و من الناحية العملية فانه توجد علاقة خطية ما بين الجرعة والتأثير (Constant doubling dose)

وللجينات حساسيات مختلفة للاشعاع وتعتمد الحساسية كذلك على سرعة اعطاء الجرع وعلى اختلاف الجنس ولهذا فأن الجرعة المثنية تعتبر معدل قيمة تحت ظروف مختلفة، لهذا يصبح من غير الممكن تحديدها بصورة دقيقة.تشمل العيوب الوراثية، الاجهاض وولادة اطفال ميتين والتصاق الاطفال وموت الاطفال الرضع والتكسر الكروموسومي.



الفصل الرابع

مصادر التعرض الى الاشعاع

Sources of Radiation Exposure



الفصل الرابع
مصادر التعرض الى الاشعاع
Sources of Radiation Exposure

من الممكن تقسيم مصادر الاشعاع المسببة لتعرض البشر الى مصادر الاشعاع الطبيعية ومصادر الاشعاع الصناعية ومصادر الاشعاع الطبيعية المحورة صناعيا. وبالاضافة الى ذلك فان مصادر الاشعاع اما ان تكون مصادر خارجية وهي تشمل الاشعة الكونية (Cosmic rays) وتعتبر هذه المصادر ذات منشأ غير ارضي (Extraterrestrial origin) ومصادر الاشعاع ذات المنشأ الارضي (Terrestrial origin) ومن امثلتها النويدات المشعة التي في قشرة الارض وكذلك التي في مواد البناء والهواء ومصادر داخلية وهي المؤلفة من العناصر المشعة الموجودة بصورة طبيعية والتي تؤخذ داخل الجسم وتسبب تعرضا داخليا.

1.4 النظائر المشعة الطبيعية (Natural radioisotops)

تقسم النظائر المشعة الطبيعية حسب منشئها الى ثلاثة اقسام القسم الاول منها منشؤه يرجع الى صنعها خلال خلق النظام الشمسي (Solar System) حيث يبلغ عمر النصف لهذه النظائر المشعة نفس عمر الارض (نحو 10^9x5 سنة) وتشمل هذه المجموعة اليورانيوم - 238 واليورانيوم 235 والثوريوم - 232 والبوتاسيوم - 40 والرايديوم - 87 والقصدير 124 واللانثيوم - 138 والسامريوم 147 والوتسيوم - 176 وبعض النظائر المشعة القليلة الوجود جدا. والقسم الثاني وهي النويدات المشعة التي تنتج عن الاضمحلال الطبيعي او الانشطار للمجموعة الاولى ويكون عددها بالعشرات وتتراوح اعمار النصف لها بين اجزاء من الثانية الى 10^5x1 سنة.

والمجموعة الثالثة تشمل نواتج التفاعل بين الجسيمات النووية المشعة والاوساط البيئية مثل الهواء والماء والصخور ومن امثلة هذه المجموعة التريتيوم والبرليوم -7 والبرليوم -10 والكاربون -14 والكلور -16 التي تنشأ من التفاعل مع الاشعة الكونية ذات الطاقات العالية (High energy cosmic rays) ان بعض العناصر تتكون نتيجة الاسر النيوتروني (Neutron capture)

او انها من منشأ غير ارضي كالكواكب الصغيرة والكبيرة (Meteorites and Micrometeorites)

ويمثل الجدول 1.4 مطلقات اشعة كاما التي لا تكون سلسلة وبالاضافة الى ذلك فأن الاشعة الكونية تعتبر من مصادر الاشعاع الطبيعية.

1.1.4 النشاط الاشعاعي في قشرة الارض
(Radioactivity of the earth crust)

ان النشاط الاشعاعي الذي في قشرة الارض يمثل النويدات المشعة ذات المنشأ الارضي (Primordial radionuclides) مثل البوتاسيوم - 40 وكذلك العناصر المشعة التابعة لسلاسل اليورانيوم - 238 (الشكل 1.4) والثوريوم - 232 (الشكل 2.4) وهي النويدات المشعة التي في قشرة الارض خلال تاريخها الطويل كما ان بعض نواتج الانشطار الذاتي لليورانيوم - 238 تتواجد ايضا بالاضافة الى وجود نواتج الانشطار ذات العمر الطويل (Long lived fission products) ولكن معدل النشاط الاشعاعي الناتج من تراكيز هذه العناصر يكون ضئيلا جداً.

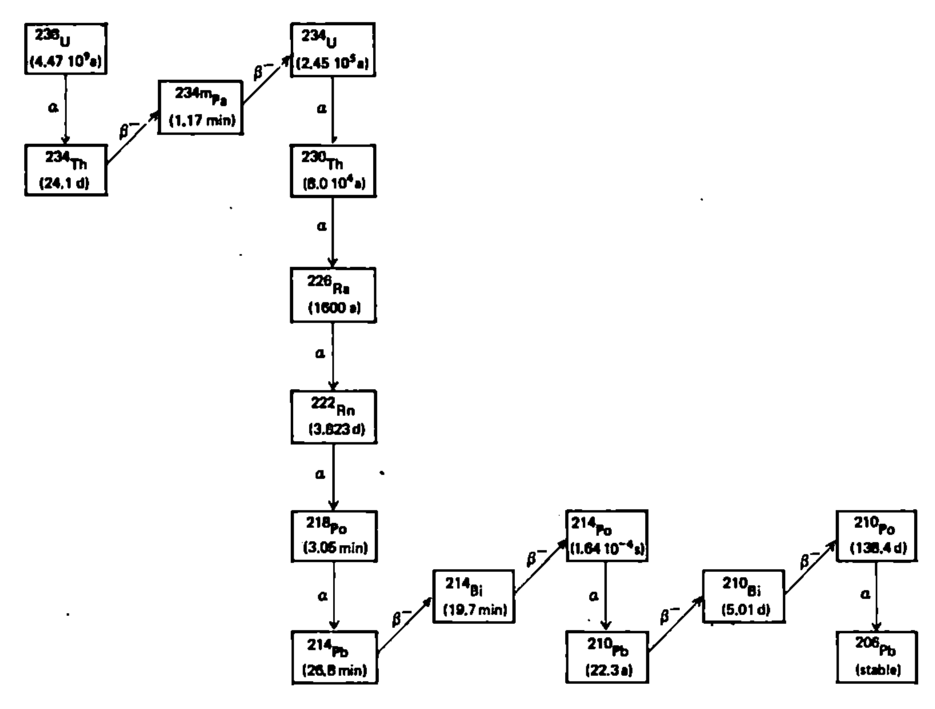
ويختلف تركيز النشاط الاشعاعي باختلاف الصخور التي تشمل :

الجدول 1.4

مطلقات اشعة كاما التي لا تكون سلسلة

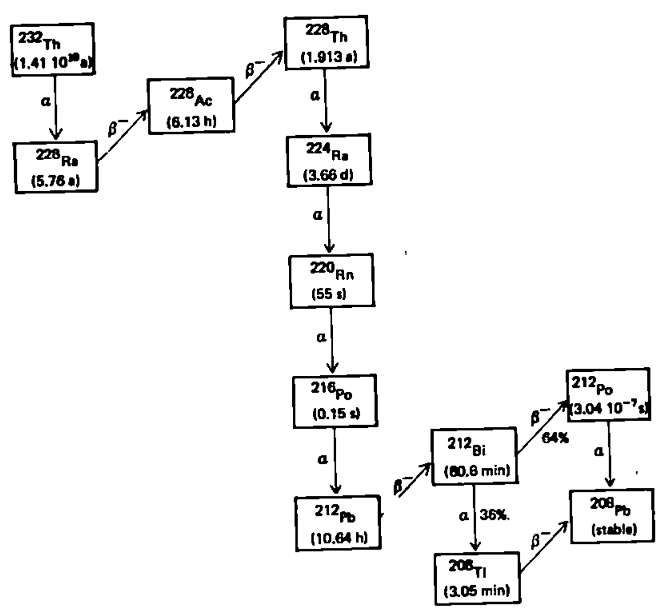
النضير المشع	نصف العمر (T½)	طريقة الاضمحلال (Decay mode)
البرليوم - 7	يوم 53.6	$_4^7Be \xrightarrow[K,\gamma]{53.6\ \text{يوم}} {}_3^7Li$
البوتاسيوم - 40	سنة $1.3x10^9$	$_{19}^{40}K \xrightarrow{1.39x10^9\ \text{سنة}}$ 11% K,γ → $_{18}^{40}Ar$ ؛ 89% B → $_{20}^{40}Ca$
اللانثم-138	سنة $1x10^{11}$	$_{58}^{138}La \xrightarrow{1x10^{11}\ \text{سنة}}$ 70% K, γ → $_{59}^{138}Ba$ ؛ 30% → $_{59}^{138}Ce$
اللوتسيوم - 176	سنة $2.4x10^{10}$	$_{71}^{176}Lu \xrightarrow[B,\gamma]{71^{176}\ \text{ساعة}}$ ؛ $_{71}^{176}Lu$ $2.4x10^{10}$ سنة → $_{72}^{176}Hf$

$\vec{B}$ = B – decay; $\vec{K}$ = K – capture; γ = γ; cmission



الشكل 1.4 سلسلة اليورانيوم – 238

المصدر UNSCEAR (1982) 127



الشكل 2.4 سلسلة الثوريوم – 232

المصدر UNSCEAR (1982) 127

الصخور البركانية (Magmatic rocks)

ويتعلق تركيز العناصر المشعة في الصخور البركانية بكمية السلكات كما ان قلوية التربة تحدد النشاط الاشعاعي فالصخور الحامضية ذات نشاط اشعاعي اعلى من الصخور الشديدة القلوية.

الصخور الرسوبية (Sedimentary rocks)

عند تكسر الصخور فان اليورانيوم اما ان ينتقل مع بقايا الصخور او ان يذوب في المياه السطحية او المياه الجوفية وهو ينتقل بصورة رئيسة على شكل مركبات كاربونية في القعر الرسوبي وفي هذه الحالة فان الترسبات التي في قعر المياه كالطمى تصبح غنية باليورانيوم. ان مركبات الثوريوم تكون عمليا غير ذائبة وهي بذلك اما ان تبقى في محلها في بقايا الصخور المتفتتموتدخل في تركيب املاح ثانوية مثل المونوزايت الذي يحوي على تراكيز عالية من الثوريوم.

النشاط الاشعاعي في التربة (Soil radioactivity)

يعتمد النشاط الاشعاعي في التربة على النشاط الاشعاعي في الصخور التي كونت التربة وعلى الفعاليات الكلية التي حدثت لتكوين التربة.

واعلى تركيز لليورانيوم وللثوريوم والبوتاسيوم يكون في ترب ناشئة من صخور بركانية حامضية وطمى.

2.1.4 النشاط الاشعاعي في الماء

يكون تركيز اليورانيوم والثوريوم في المياه $10^3 - 10^4$ مرة اقل من تركيزهما في التربة والصخور وان هنالك تغيرا حادا في الموازنة بين الاهل والبنات كما ان تركيز اليورانيوم غالبا ما يطغي على تركيز الثوريوم كما انه يوجد من الرادون كميات اكبر بصورة ملموسة من الراديوم في المياه (الجدول 2.4)

تكون نسبة اليورانيوم في المياه الطبيعية قليلة الا ان ماء الحنفية قد يحوي في بعض المناطق تراكيز عالية جدا حيث وجد ان بعض انواع المياه في الاتحاد السوفيتي تحوي على تراكيز عالية جداً (2.6 KBq لكل متر مكعب) كما ان

تركيز مياه الابار في بلدان اخرى فنلندا مثلا قد يصل الى $2x10^5$ بكريل للمتر المكعب الواحد ويعتقد ان السبب في ذلك يـرجع الى وجـود بعض المناطق الموضعية الغنية باليورانيوم.

الجدول 2.4 تركيز النظائر المشعة في الماء

النظير المشع	التركيز في المياه العذبة بكريل/ متر مكعب	التركيز في المحيطات بكريل/ متر مكعب
^{10}Be	0.008	$1.5x10^{-4}$
^{14}C	1.8	3.3 – 5.2
^{144}Ce		0.1 – 24
^{137}Cs	3.7 ـ 37	2.1 – 60
^{3}H	متغير	24
^{40}K	15 – 300	12000
^{210}Pb	3 – 8	0.17
^{210}Po	0.5 – 2.6	0.93
^{90}Sr	7 – 70	1.7 – 35
^{238}U	4.8	41

المصدر 5 H.J.M. Bowen (1979)

اما الراديوم – 226 فان نسبته في المياه السطحية قليلة مقارنة بالمياه المعدنية ومياه الابار.

3.1.4 النشاط الاشعاعي في الهواء

يـأتي النشـاط الاشعـاعي في الهـواء من عـدة مصـادر وهي انبعـاث (Emanation) من السلاسل المشعة (Radioactive series) وبصورة رئيسة الرادون والثورون ونواتج اضمحلالها (حيث تمر الغازات المتحررة عن طريق

الاوعية الشعرية للتربة).

كما ان النشاط الاشعاعي لطبقات الجو الدنيا (Troposphere) التي يتراوح ارتفاعها من صفر لغاية 10 الى 15 كم يأتي من الرادون والثورون ومن نواتج اضمحلالها وبالدرجة الاساس النظائر المشعة القصيرة العمر مثل البولونيوم - 218 والرصاص - 218 والبزموث - 214 وبينما تضيف النظائر المشعة الطويلة العمر مثل الرصاص - 210 والبزموث - 210 والبولونيوم - 210 اعدادا قليلة في المائة.

وتقل تراكيز المواد المشعة المنبعثة ونواتج اضمحلالها القصيرة العمر كلما زاد الارتفاع كما ان تراكيز العناصر المشعة المنبعثة في طبقة الهواء الارضية تكون اكثر من 100 ضعف فوق اليابسة من سطح البحر ان تراكيز العناصر المشعة الطبيعية التي في الجو موضحة في الجدول 3.4 وتتغير تراكيز العناصر المشعة في الجو باختلاف الوقت.

واعلى تركيز للرادون يتم ملاحظته في ساعات النهار واقل تركيز يكون في فصل الصيف واعلى تراكيز في فصلي الخريف والشتاء.

ويؤدي سقوط الامطار بصورة كثيفة الى تنقية الجو نتيجة سحب الجزيئات المشعة العالقة من قبل قطرات المطر وجسيمات الثلج كما ان المصدر الرئيس لليورانيوم الطبيعي والراديوم -226 في الجو هو تطاير ذرات الغبار من الارض واعادة تعلقها في الجو ويقدر تركيز الفعالية لليورانيوم الطبيعي في الهواء الملامس لسطح الارض بـ 1.2 MBq لكل متر مكعب.

الجدول 3.4 معدل تركيز الغازات المشعة في الهواء بكريل لكل متر مكعب

الغاز	بكريل/ متر مكعب في troposphere	بكريل/ متر مكعب في Stratosphere
$^{14}CO_2$	0.0437	0.0437
^{37}Ar	0.0041	0.00045
^{3}HOH	0.13	0.0015
^{81}Kr		0.000018
^{85}Kr	0.62	0.62
^{220}Rn	قليل جدا	0.07 –2
^{222}Rn	قليل	0.2 – 100

المصدر 5 H.J.M. Bowen (1979)

يحوي الهواءكذلك على الرادون – 222 ونواتج اضمحلاله القصيرة العمر مثل البولونيوم – 218 والرصاص – 214 والبزموث – 214 والبولونيوم – 214 . ان معدل تركيز الرادون – 222 المكافىء في الهواء المحصور داخل الابنية يبلغ عشرة اضعاف تركيزه في الهواء الطلق. اما نواتج اضمحلال الرادون – 222 الطويلة العمر كالرصاص – 210 والبزموث – 210 والبولونيوم – 210 فان المصدر الرئيس لها فيالجوهو انبعاث الرادون – 222 من الارض.

كما ان انتقال الثوريوم – 232 الى الجو يكون بفعل تطاير الغبار وهنالك كميات من الرادون – 220 ونواتج اضمحلاله القصيرة العمر مثل البولونيوم – 216 والرصاص – 212 والبزموث – 212 والبولونيوم – 212 التي في الجو كذلك.

4.1.4 العناصر المشعة في الكائنات الحية

يكون النظير المشع البوتاسيوم - 40 واسع الانتشار في الكائنات الحية وهو الذي يحدد بالدرجة الاولى النشاط الاشعاعي في المواد الحية. يعتبر البوتاسيوم من العناصر الاساسية في الجسم ويخضع تركيزه فيه الى حالة تنظيم داخلي (Homeostatic control) ومعدل تركيز البوتاسيوم في جسم الذكور البالغين هو غرامان لكل كيلو غرام من الجسم وبذلك يكون تركيز الفعالية هو 60 بكريل لكل كيلو غرام كما تبلغ مكونات النباتات من البوتاسيوم - 40 نحو 0.05% من الوزن الرطب.

تعتمد مكونات النباتات من اليورانيوم والثوريوم والراديوم الى درجة كبيرة على النشاط الاشعاعي للوسط المحيط وهذه النباتات لا تستطيع عمليا الاحتفاظ بالرادون والثورون حيث يبلغ انبعاثهما 100% .

يبلغ ما يؤخذ من اليورانيوم - 238 في الاغذية سنويا نحو 5 بكريل في المناطق التي يكون النشاط الاشعاعي طبيعيا فيها. وتركيز الفعالية لليورانيوم في جسم الانسان يقدر بنحو 0.15 بكريل لكل كيلو غرام من العظام و $10^{-3}x5$ بكريل لكل كيلو غرام في الانسجة الطرية.

ان الثوريوم في جسم الانسان يتركز في العظام وهذا التركيز يزداد بتقدم العمر ويبلغ تركيز الفعالية للثوريوم في العظام $10^{-2}x4$ بكريل لكل كيلو غرام من العظام ويقدر بـ $10^{-4}x3$ بكريل لكل كيلو غرام في الانسجة الطرية.

وتركيز الراديوم - 226 في الانسجة الطرية للبشر يبلغ حوالي 2.7 MBq.

ويمثل البولونيوم - 210 حالة مهمة في الكائنات الحية وذلك يأتي بسبب انه موجود في التبوغ حيث تحوي السجائر على نحو 15MBq منه وانه كذلك يتركز في الاجزاء التي تؤكل من الاحياء البحرية.

5.1.4 الاشعة الكونية

تعتبر الاشعاعات ذات الطاقات العالية التي تدخل الى فضاء الارض من الفضاء الخارجي من الاشعاعات الكونية الابتدائية (Primary cosmic rays) وعندما تتفاعل هذه الاشعة مع نوى الذرات في الفضاء تتولد كذلك جسيمات ثانوية (Secondary particles) مصحوبة باشعة كهرومغناطيسية وتعتبر هذه هي الاشعة الكونية الثانوية (Secondary cosmic rays)

الاشعة الكونية الابتدائية

تتولد معظم الاشعة الكونية الابتدائية من مجموعة كواكب الارض وبالاضافة الى ذلك فان هذه الاشعة الكونية تأتي من الشمس (Solar cosmic rays) عند حدوث الانفجارات الشمسية (Solar flares)

الاشعة الكونية الناشئة من الكواكب

تتالف هذه الاشعة من بروتونات ذات طاقات عالية تدخل المنظومة الشمسية من الفضاء الخارجي بالاضافة الى ايونات الهيليوم التي تؤلف نحو 10% ونسباً قليلة من جسيمات ذات طاقات اعلى والكترونات وفوتونات ونيوترينات (Neutrinos).

الاشعة الكونية الشمسية الابتدائية

ان كميات كبيرة من الطاقة تتحرر من الجسيمات المشحونة التي تكون بالدرجة الاولى من بروتونات وجسيمات الفا نتيجة للانفجارات الشمسية ولكن هذه الجسيمات تكون ذات طاقات واطئة نسبيا.

الاشعة الكونية الثانوية

عندما تدخل الجسيمات الابتدائية للاشعة الكونية الغلاف الجوي فأنه تحدث تفاعلات نووية من نوع تفاعلات التشظي مع نوى الذرات التي في الهـواء مما يـولد نيـوترونـات وبروتـونـات وبـايـونـات (Pions) وكـونـات (Kaons) وبعض نواتج التفاعل الاخرى.

كما ان البروتونات والنيـوترونـات والبايـونات ذات الـطاقات العـالية تتفاعل مرة اخرى مع النوى التي في الهواء مولدة جزيئات ثانوية اكثر وتدعى هذه العملية السلسلة (Cascade)

6.1.4 النويدات المتولدة بفعل الاشعة الكونية

(Cosmogenic radionuclides)

وتشمل هذه النويدات المشعة التريتيوم والبرليوم - 7 والكاربون - 14 والصوديوم - 22 . ان المصدر الرئيس للتريتيوم هو الغلاف الجوي وهو يتولد من تفاعل النيوترونات التي في الاشعة الكونية مع النايتروجين والاوكسجين. ان كمية التريتيوم التي في الجو تقدر بـ 10^{8}x1.3 بكريل وتتحول 99% من هذه الكمية الى ماء محتو على التريتيوم (Tritiated water) ويشارك هذا النوع من الماء في دورة المياه الطبيعية. ان النشاط الاشعاعي للمسطحات المائية قبل حصول التفجيرات النووية كان يتراوح بين 200 الى 900 بكريل في المتر المكعب الواحد لمياه القارات و 100 بكريل للمتر المكعب لمياه المحيطات. ان التريتيوم يدخل في النباتات المستعملة في الاكل على هيئة ماء محتو على التريتيوم او على شكل مادة عضوية.

ان تركيز البرليوم - 7 في المناطق الحارة يبلغ 3 مليبكريل في المتر المكعب من الهواء السطحي ونحو 700 بكريل في المتر المكعب الواحد من مياه الامطار. ان طريق انتقال البرليـوم - 7 الرئيس الى الانسـان

هو طريق تناول الخضروات الورقية.

يتكون الكاربون - 14 الطبيعي في اعالي الجو بواسطة التفاعل $N^{14}(n/p)C^{14}$ الذي يحفز بواسطة النيوترونات الكونية اما الصوديوم - 22 فان تركيزه في الجو يكون قليلا جداً.

2.4 المواد المشعة الناتجة من توليد الطاقة الكهرونووية

تستعمل الطاقة النووية بالدرجة الاساس لتوليد الطاقة الكهربائية وذلك بتشغيل المحطات الكهرونووية مما يتطلب الحصول على الوقود النووي كاليورانيوم مثلا الذي يستخرج من المناجم ويطحن (Mining and Milling). وقد يدعو تصميم المحطات الكهرونووية الى استعمال وقود نووي يكون اكثر تخصيبا من اليورانيوم الطبيعي ويشمل التخصيب عادة اضافة اليورانيوم - 235 وبعد هذه العملية يتم تصنيع قضبان الوقود (Fabrication of fuel elements) الذي يستعمل في انتاج الطاقة الكهربائية في المحطات الكهرونووية وهناك انواع من هذه المحطات تستعمل انواع اخرى من الوقود يحصل عليها عادة باستخلاصها من الوقود الذي سبق استعماله
(Reprocessing of irradiated fuel elements)

وتنشأ عن تشغيل المحطات الكهرونووية نفايات مشعة (Radioactive waste) يجري ردمها (Disposal) اضافة الى ذلك فان مواد الوقود النووي تنقل بين المنشآت المختلفة في مراحل توليد الطاقة الكهرونووية.

ان معظم المواد المشعة المتولدة من فعاليات انتاج الطاقة الكهرونووية تنتج عن تشعيع الوقود النووي ويضيف التنشيط النيوتروني لمواد الهيكل وحاويات الوقود (Cladding) وكذلك وجود بعض النظائر المشعة الطبيعية في مراحل التعدين والطحن الى هذا النشاط الاشعاعي.

ان معظم النظائر المشعة التي تطرح الى البيئة تؤثر في المواقع التي تتواجد فيها المنشآت النووية والتي قد تسبب بعض القلق الا ان الكثير من هذه النظائر

المشعة ذات عمر نصف قصير جدا بالاضافة الى محدودية حركتها في البيئة وهنالك بعض النظائر المشعة ذات عمر نصف طويل وهي سريعة الانتشار في البيئة مما يسبب انتشارها عالمياً.

1.2.4 المواد المشعة الناتجة من تعدين وطحن اليورانيوم

يوجد اليورانيوم على شكل خامات في عدد من بلدان العالم ويحصل عليه بواسطة التعدين. ان عمليات تعدين اليورانيوم تتضمن ازالة كميات كبيرة من خامات اليورانيوم من باطن الارض حيث تحوي هذه الخامات على اليورانيوم وبناته بتراكيز تبلغ عدة الاف اضعاف هذه النظائر المشعة التي في البيئة الارضية ويبلغ تركيز اليورانيوم في الخامات بعد التعدين بين 0.1 الى نحو 3% من اوكسيد اليورانيوم (U_3O_8) . ان المصدر الرئيس للاشعاع في التعدين تحت الارض لليورانيوم هو الرادون - 222 ان الخطوات التي تمثل تولد مصادر رئيسة للاشعاع في عمليات الطحن هي عملية التكسير والتجفيف وتعبئة مسحوق اليورانيوم الاصفر (Yellow cake).

ان الرادون - 222 هو المكون الوحيد للغازات المشعة المطروحة من المناجم عن طريق التهوية حيث تطرح كميات كبيرة منه في الهواء. ان النفايات المشعة السائلة ترمى في برك يتم فيها ترسيب المواد الصلبة وتبخير الماء . وتتولد كذلك في عمليات التعدين والطحن مصادر اشعاعية صلبة تشمل الصخور والخامات الرديئة النوعية.

كما ان كمية الرادون - 222 المتولدة من التعدين تتراوح بين 0.1 GBq الى 0.2GBq لكل طن من اليورانيوم الخام.

تولد مطحنة اليورانيوم غبارا مشعا يطرح الى الجو يأتي بالدرجة الاساس من عملية تجفيف المسحوق الاصفر ومن عملية تعبئته ويكون هذا الغبار حاويا بالدرجة الاساس اليورانيوم - 238 والثوريوم - 232

والراديوم - 226 والرصاص- 210 و الرادون - 222. تكون بقايا مطاحن اليورانيوم مصادر للاشعاع حتى بعد ايقاف هذه المطاحن عن العمل ومن الممكن ان تكون مصدرا للتلوث لوقت طويل وذلك عن طريق الريح والتآكل الحاصل بواسطة الماء وانبعاث الرادون والوقاية من هذه الحالة تتم باستعمال مواد محلية لتغطية البقايا كالحصو والطين او الاغطية الصناعية ومواد الاغلاق مثل الاسفلت. وبالرغم من ان البقايا تحوي بضعة اجزاء بالمائة فقط من اليورانيوم الأصلي فان المصدر الرئيس للاشعاع هو الثوريوم - 230 الذي يكون عمر النصف له $8x10^4$ سنة حيث يقوم بأنتاج الراديوم - 226 الذي يطلق الرادون.

2.2.4 المواد المشعة الناتجة من تصنيع الوقود النووي

يعامل مركز خامات اليورانيوم الناتج في المطاحن بصورة اكثر وينقى وغالبا ما يخصب باليورانيوم - 235 قبل ان يحول الى اوكسيد اليورانيوم الذي تصنع منه قضبان الوقود ويتم التخصيب بزيادة نسبة اليورانيوم- 235 ويجري عادة في معامل تنافذ الغازات (Gaseous diffusion plants) حيث يتم الضخ خلال سلسلة من الاغشية المسامية التي تعرقل مرور النظائر المشعة الاكثر ثقلا.

تولد عمليات التخصيب كميات كبيرة من اليورانيوم المستنفذ (De-pleted uranium) الذي يصبح مصدراً لتعرض السكان فيها اذا ردم او خزن لغرض تحويله الى البلوتونيوم - 239 القابل للانشطار.

ان معظم المصادر الاشعاعية المتولدة من عملية تصنيع الوقود تكون صلبة وان قسما منها يكون على شكل مواد سائلة تجمع في خزانات للترسيب او في برك وان هذه المواد تكون محتوية على الثوريوم - 230 والراديوم - 226 بالاضافة الى اليورانيوم - 235 واليورانيوم - 234 والثوريوم - 234

3.2.4 المواد المشعة الناتجة من تشغيل المحطات الكهرونووية

تتولد نواتج الانشطار خلال فترة توليد الطاقة من قبل المفاعلات النووية وتتكون نواتج الانشطار هذه في الوقود النووي بالاضافة الى ان النيوترونات تولد مكونات مشعة في الهياكل وحاويات الوقود. ان الفعالية الاشعاعية توجد كذلك في وسط التبريد وذلك لانه يصبح مشعا بالاضافة الى تسرب المواد المشعة بطريقة الانتشار نتيجة وجود بعض التلف في جزء قليلا من حاويات الوقود بالاضافة الى الصدأ الذي يحدث في مواد الهيكل ومواد حاويات الوقود.

وتكون لجميع المفاعلات انظمة معاملة لغرض ازالة الفعالية من النفايات المشعة السائلة والغازية التي تنتج من التسرب خارج قلب المفاعل او نتيجة تنظيف وسيلة التبريد.

كما ان طرح النفايات المشعة ذات النشاط الاشعاعي الواطىء يتم تنظيمه ومراقبته وتعتمد كميات المواد المشعة المطروحة من المفاعلات على تصميم المفاعلات وعلى محطة معاملة النفايات المستعملة.

والمواد المشعة المطروحة الى الجو تتكون من الغازات النبيلة (Noble gases) الناتجة من عملية الانشطار مثل غازي الكربتون (Krypton) والزنون (Xenon) والغازات الناتجة عن عملية التنشيط (Activiation gases) مثل الكاربون - 14 والنايتروجين - 16 والكبريت - 35 والاركون - 41 والتريتيوم واليود والجسيمات (Particulates).

كما ان المواد المشعة السائلة التي تطلق الى البيئة المائية تشمل التريتوم ونواتج الانشطار (Activation products) ونواتج التآكل المنشطة (Activi- ated corrosion products)

غازات الانشطار النبيلة

يوجد في الاقل تسعة نظائر مشعة للكربتون واحد عشر نظيراً مشعاً للزنون تنتج من عملية الانشطار. ان لمعظم هذه النظائر عمر نصف قصير

جدا (ثوان او دقائق) وتنحل قبل ان تنتقل بصورة ملموسة من الوقود.

تتحرر النفايات المشعة الغازية خلال عملية تنظيم التركيب الكيمياوي والتنقية لماء التبريد في الدورة الاولى والتي تحفظ تحت الضغط في خزانات بين 30 – 120 يوما لغرض انحلال العناصر المشعة القصيرة العمر. اما الغازات المشعة الاخرى فانها تنشأ من مكثف العادم الذي في دورة البخار ودورة التبريد الثانية وتهوية بناية المفاعل ومن ضمنها تنفيس الحاوية الحاجـزة وفي الالات التـوربينية وبنـاية التهـوية المسـاعدة.ويمثـل الجـدول 4.4 الغـازات النبيلة المطروحة من مفاعلات PWR حيث يلاحظ ان النسب تتفاوت ولا تتبع نمطا معينا حيث تختلف الغازات المطروحة من مفاعل لاخر اختلافا كبيرا وذلك لاختلاف التصاميم وفترات الاشتغال والادامة غير المنتظمة ولهـذا قد يلجـأ احيانا الى ايجاد معدل الغازات النبيلة المطروحـة عن طريق تقسيم الكميـة الكلية المطروحة سنويا على كمية الطاقة الكهربائية المتولدة فعلا.

الجدول 4.4 التركيب النظائري للغازات النبيلة المطروحـة من مفاعـلات PWR

الغازات النبيلة المطروحة

^{41}Ar	^{85m}Kr	^{85}Kr	^{87}Kr	^{88}Kr	^{131m}Xe	^{133m}Xe	^{133}Xe	^{135m}Xe	^{135}Xe	^{138}Xe	الطاقة الكهربائية [MW(e)a]
				← TBq →							
11	0.01	0.78	0.062	0.007	35	1.4	95	—	5.1	0.01	221
0.011	0.043	0.05	—	0.04	—	0.12	8.4	—	0.56	—	250
0.033	0.11	0.74	—	—	0.036	0.018	25	—	1.9	—	355
0.3	3.2	0.20	0.49	1.7	0.11	2.8	289	—	24	—	397
0.078	0.01	0.48	0.004	0.016	—	0.19	25	—	0.24	—	440
	0.051	37	0.13	0.12	1.5	0.29	155	0.027	1.1	0.13	493
0.92	4.9	2.9	5.0	10	31	4.9	492	0.41	9.4	4.7	592
0.11	0.042	0.038	0.034	0.058	0.092	0.28	32	0.13	1.4	0.016	631
0.1	0.03	0.048	0.09	—	—	0.068	25	—	0.71	—	865
0.005	0.005	1.3	0.036	—	0.045	0.048	0.14	363	—	13	1161
0.28	0.062	0.097	—	1.5	8.8	0.63	1132	—	118	—	1238
0.019	0.007	326	—	—	—	0.88	70	—	7.8	—	1373

المصدر UNSCEAR (1982) 127

ويؤلف غاز الزنون - 133 معظم هذه الغازات ويبلغ عمر النصف لهذا النظير المشع 5.3 يوم وهنالك نظائر اخرى تكون موجودة بصورة ملموسة مثل الزنون - 135 ولكن عمر النصف له يبلغ 9.2 ساعة فقط.

اما مفاعلات BWR فان طرح الغازات النبيلة المشعة لا يعتبر مهما ومع هذا فان كميتها ونسبها تختلف بعضها عن بعض كثيرا وذلك لاختلاف زمن الاحتفاظ (Hold – up time) حسب نوع المفاعلات.

غازات التنشيط

تطرح المفاعلات المبردة بالغاز غازات التنشيط بدل الغازات النبيلة بصورة عامة وغازات التنشيط هذه تنتج من التنشيط المباشر للاوكسجين الذي في ثاني اوكسيد الكاربون مكونا غاز النايتروجين - 16 الذي يكون احد المصادر الرئيسة للاشعاع في محطات توليد القوى النووية حيث يعطي تعرضا خارجيا من مجال اشعة كاما حيث ان الفوتونات الناتجة من انحلاله لها طاقات 6.1 MeV و 7.1MeV وكذلك غاز الاركون - 41 الناتج من الاركون - 40 المستقر. ان المصدر الاساسي للاركون 41 في المفاعلات المبردة بالغاز هو تسرب غاز التبريد الى الجو حيث قد يبلغ المطروح منها في هذه الحالة 0.1 PBq $[GW(e)a]^{-1}$ وهناك عدد اخر من غازات التنشيط المطروحة من المفاعلات المبردة بالغاز مثل الكبريت - 34 الذي يتكون من الكبريت الذي في الكرافايت المكون لقلب المفاعل وهو ينتج كذلك من الكلور - 35 الذي يوجد بصفة شوائب.

التريتيوم

يتولد التريتيوم من الانشطار الثلاثي في الوقود النووي ومن تفاعلات التنشيط النيوتروني مع نظائر الليثيوم والبورون المشعة التي تكون ذائبة وعلى

تماس مع ماء التبريد في الدورة الاولى والهايدوجين الثقيل (Deuterium) لمفاعلات HWR الذي يستعمل للتهدئة والتبريد.

وتبلغ كميات التريتيوم المقذوفة الى الجو من مفاعلات BWR المعدلة $3.4\ TBq[GW(e)a]^{-1}$ اما مفاعلات LWR فان القيمة المقدرة تبلغ $630TBq[GW(e)a]$ وتقدر القيمة المعدلة لمفاعلات PWR بـ $7.8TBq[GW(e)a]^{-1}$. اما النفايات المشعة السائلة فان متوسط المطروح المعدل لعدة سنوات يبلغ $1.4TBq[GW(e)a]^{-1}$ لمفاعلات PWR و $38TBq[GW(e)a]^{-1}$ لمفاعلات PWR.

اما المفاعلات المبردة بالغاز فانها تطرح $25TB9[GW(e)a]^{-1}$ من التريتيوم معدلا سنوي. ان اعلى تركيز للتريتيوم في النفايات المشعة السائلة هو المطروح من مفاعلات HWR وبمتوسط مقداره $421TBq[GW(e)a]^{-1}$

الكاربون - 14

يعتبر ما يطرح من الكاربون - 14 مهما جدا وذلك لعمر نصفه الطويل 5730 سنة) بالرغم من ان الكمية المطروحة تكون قليلة عادة. ان الكاربون - 14 يتكون في مفاعلات LWR من الاوكسجين - 17 الذي في الوقود النووي ومن المهدىء ومن النايتروجين - 14 الذي يكون بصفة شوائب في الوقود وكذلك بواسطة الانشطار الثلاثي.

ان الكرافايت يتكون المصدر الرئيس للكاربون - 14 في المفاعلات المبردة بالغاز والمهدئة بالكرافايت. ان انتاجه من ثاني اوكسيد الكاربون المستعمل في التبريد يعطي اجزاء في المائة فقط من المجموع الكلي للمصادر الاخرى المولدة للكاربون - 14.

كما ان الكمية المطروحة من الكاربون - 14 لمفاعلات LWR تقدر بـ $1.9TBq[GW(e)a]^{-1}$ وهو ينتج عن طريق التسرب من دورة التبريد الاولى التي

تحوي فعالية تطرح الى الغاز المبرد نتيجة تآكل المهدىء (الكرافايت) وتقدر الكمية المطروحة من الكاربون - 14 من مفاعلات الماء الثقيل المعدلة 10TBq GW.[(e)a]$^{-1}$

اليود iodine

ينتج عنصر اليود المتطاير بفعل عملية الانشطار والكمية المنتجة لا تعتمد فيها اذا كان اليورانيوم او البلوتونيوم يستعمل بصفة وقود.

ان نظائر اليود المشعة المهمة من ناحية الوقاية من الاشعاع هي اليود - 129 حيث يكون عمر النصف له 10^7x1.6 سنة واليود - 131 الذي يكون عمر النصف له 8.05 يوم واليود - 132 الذي يكون عمر النصف له 2.3 ساعة واليود - 133 بعمر نصف مقداره نصف ساعة واليود-134 بعمر نصف مقداره 53 دقيقة واليود - 135 الذي يبلغ عمر النصف له 6.7 ساعة.

ونظرا لعمر النصف القصير لنظائر اليود المشعة ما عدا اليود - 129 فان الفعاليات تكون في حالة توازن بسرعة ويعتمد المطروح على عدد العيوب في الوقود ومعدل تسرب وسط التبريد.

واليود - 131 مهم جداوذلك لسرعة انتقاله في البيئة وتأثيره المتخصص على الغدة الدرقية.

هنالك اختلافات واسعة بين الكميات المطروحة الى الجو من نظائر اليود وحتى المكونات من هذه النظائر لما هو مطروح وذلك لاختلاف طرائق معاملة النفايات. ان الكمية السنوية المطروحة من اليود لمفاعلات PWR تبلغ 5 GBq[GW(e)a]$^{-1}$ بينما يبلغ المطروح لمفاعلات BWR 410GBq [GW(e)a]$^{-1}$ ومفاعلات LWR مقداره 3.1GBq[GW(e)a]$^{-1}$ في الولايات المتحدة الامريكية للسنوات 1975 - 1979.

وتعتمد كمية اليود المطروحة اعتماداً كبيراً على نوع المنظومة المستخدمة في الترشيح.

الجسيمات في النفايات المشعة المطروحة في الهواء

تنتج الجسيمات الفعالة بصورة مباشرة من انحلال الغازات النبيلة او ربما تنتج من تآكل المواد في دورة التبريد الاولى، ان الرذاذ الذري (Aerosol) يتولد بفعل التسرب الذي يحدث في دورة التبريد الاولى الفعالة. ان الهواء الذي في المناطق التي يحتمل ان يتولد فيها الرذاذ الذري ينظف بصورة مستمرة حيث تحجز الفعالية على مرشحات ذات كفاءة عالية للجسيمات (HEPA) حيث تقوم هذه المرشحات بحجز كافة الجسيمات ما عدا جسيمات الرذاذ الذري الصغيرة جدا. كما ان ما هو مطروح من الجسيمات الفعالة قليل جدا ويكون تركيب المطروح من النظائر المشعة صفة من صفات المنشأة النووية الخاصة اذ انه يعتمد على الشوائب التي في الحاويات وفي مواد الهيكل وكيمياء وسط التبريد والطرائق التي يحدث فيها الخلل في الوقود (Feul failure modes) وتختلف الكميات المطروحة كذلك بين وقت واخر وذلك لاختلاف طرائق التشغيل والادامة.

وقد يكون عدد النظائر المشعة المطروحة كبيرا جدا نتيجة للعوامل التي ذكرت اعلاه.

ان النظائر المشعة التي ميزت في عدد من المنشآت هي ^{7}Be و
^{22}Na و ^{24}Na و ^{51}Cr و ^{56}Mn و ^{59}Fe و ^{57}Co و ^{58}Co و ^{60}Co و
^{63}Ni و ^{65}Zn و ^{75}As و ^{88}Rb و ^{89}Sr و ^{90}Sr و ^{91}Sr و ^{95}Zr و
^{97}Zr و ^{95}Nb و ^{99}Mo و ^{99m}Tc و ^{103}Ru و ^{105}Ru و ^{106}Ru و
^{105}Ag و ^{110m}Ag و ^{113}Sn و ^{115}Ca و ^{122}Sb و ^{124}Sb و ^{125}Sb و ^{123m}Sn و
^{123m}Te و ^{134}Cs و ^{137}Cs و ^{139}Cs و ^{140}Ba و ^{149}La و ^{141}Ce و ^{182}Ta
ولهذا فان ايجاد معدل تركيز النظائر المشعة التي في الجسيمات المطروحة من قبل

المفاعلات النووية صعب بالاضافة الى انه لا يعني الشيء الكثير. ان النتائج والدراسات المنشورة لا تدل على ان اي نظير مشع قد يسود على بقية النظائر المشعة في اي مفاعل ان المعدل للجسيمات المطروحة لمفاعلات PWR الى الجـو يـبلغ 2.2GBq[GW(e)a]$^{-1}$ ولمفـاعـلات BWR الى الجـو يـبـلغ 52.7GBq[GW(e)a]$^{-1}$ والجسيمات الفعالة المعدلة من مفاعلات GCR يبلغ 1.0GBq[GW(e)a]$^{-1}$ بـيـنـما قـد بـلغـت هـذه الجـسـيمات 0.044GBq[GW(e)a]$^{-1}$ لمفـاعلات HWR وللمفـاعلات السريعـة من نوع فينكس (Fast rector Phenix) مقدار 4.8MBq[GW(e)a]$^{-1}$

النفايات المشعة السائلة

ان مصادر النظائر المشعة في النفايات المشعة السائلة ما عدا التريتيوم هي نفسها التي ذكـرت للجسيمات الفعـالـة التي تـطرح الى الجـوولها نفس الاختلافات من حيث الكمية والتركيب.كما ان كمية وتركيب النفايات المشعة يعتمد على تصميم المفاعل وعلى طرائق تشغيله وكذلك على الشوائب التي في محتويات وهيكل حاويات الوقود. وتبلغ النفايات المشعة المعـدلة المـطروحة المبنية على النفايات المطروحة لكل نوع من المفاعلات باستعمال معدل انتاج الطاقة الكهربائية لعدة سنوات

PWR: 190 GBq[GW(e)a]$^{-1}$

BWR: 309 GBq[GW(e)a]$^{-1}$

GCR; 4767 GBq [GW(e)a]$^{-1}$

HWR: 475 GBq [GW (e)a]$^{-1}$

لقد وجد في بعض مفاعلات PWR و BWR ان السيزيوم – 137 كان يمثل 35% والسيزيوم – 134 يمثل 10% من مجموع النفايات المشعة السائلة المطروحة بينما قد تبلغ نسبة السيزيوم نحو 70% من الفعالية التي في

النفايات المشعة السائلة المطروحة من مفاعلات GCR. اما بالنسبة الى مفاعلات LWR فان النفايات المشعة السائلة تحتوي على عدد من النظائر المشعة التي تساهم بالباقي مثل الكوبلت - 60 والكوبلت- 58 حيث يكونان 65% من الفعالية في مفاعلات PWR بينما نظائر اليود المشعة تكون نسبة 6%. اما مفاعلات BWR فان نظائر الكوبلت تساهم بنحو 10% من الفعالية التي في النفايات السائلة واليود 5% في النفايات المشعة المطروحة سنويا.

ان طرح اليود - 131 في النفايات المشعة السائلة يبلغ نحو 4.7GBq[GW(e)a]-1 لمفاعلات BWR اما مفاعلات PWR فان فعالية اليود كانت بمعدل 4.6GBq[GW(e)a]-1 كما ان اليود - 131 المطروح مع النفايات المشعة السائلة يساوي بالمقارنة بما هو مطروح في الجو في مفاعلات BWR والبالغ 42GBq(GW(e)a]-1 و 1.9GBq[GW(e)a]-1 لمفاعلات PWR بينما يبلغ معدل طرح بقية نظائر اليود في النفايات المشعة السائلة 3GBq[GW(e)a]-1 لليود - 133 واليود - 135 في مفاعلات BWR

هنالك اختلاف واسع لنواتج التنشيط ونواتج الانشطار الذي في النفايات المشعة السائلة وتختلف النتائج من مفاعل الى اخر وتدل الظواهر على ان واحدا او اثنين من النظائر المشعة تكون موجودة باستمرار في النفايات المشعة السائلة المطروحة **من مفاعلات** LWR ومنها الصوديوم - 24 الذي يوجد كذلك في النفايا المشعة السائلة المطروحة من مفاعلات BWR و PWR بالاضافة الى الكوبلت - 59 الذي يكون موجودا وبتركيز مساو او اعلى من تركيز الكوبلت - 60 في النفايات المشعة السائلة. اما مفاعلات BWR فان السترونتيوم - 89 يكون موجودا في النفايات المشعة السائلة المطروحة.

4.2.4 المواد المشعة الناتجة من استخلاص الوقود

يتم استخلاص عناصر اليورانيوم والبلوتونيوم من الوقود النووي المشعع ويستعمل مرة اخرى في مفاعلات الانشطار. ان مادة الوقود المستنفذ (Spent

fuel elements) تخزن تحت الماء الذي يكون بصفة درع واق للاشعاع ويستفاد منه كذلك للتبريد. ان مادة الوقود تترك حتى تضمحل جميع النظائر المشعة القصيرة العمر الى كميات غير مهمة (عادة اقل من 20 يوما).

النفايات المشعة الغازية

ان تصميم وتشغيل منشـــآت استخلاص الوقـــود لا ينـــتج عنه اطلاق كميات كبيرة من النويدات المشعة. كما ان نواتج الانــشــطار الـغــازيــة المـتـطايــرة مــثــل Cs و Tc و Ru و Xe و Kr و C و ^{3}H و I تكون مفصولـة بصورة كبيرة عن محاليل الوقود في مرحلة الاذابة والنويدات المشعة الرئيسة المهمة في نفايات منشآت استخلاص الوقود هي النويدات المشعة الطويلة العمر مثل ^{3}H و ^{14}C و ^{85}Kr و ^{90}Sr و ^{106}Ru و ^{129}I و ^{134}Cs و ^{137}Cs والنـظائر المشعـة ما فوق اليورانيوم. ان كمية الفعالية المطلقة لا تعتمد فقط على نوعية المعاملة الخاصة للنفايات او طريقة المعاملة في معمل استخلاص الوقود بل تعتمـد كذلك على نوعية الوقود المستخلص وعلى ما جرى عليه اثناء التشعيع والخزن كزمن التبريد مثلا.

الرذاذ المشع

يحوي الرذاذ المشع المطلق من معامل استخلاص الوقود عدداً قليل من النويدات المشعة المطلقة لجسيمات الفا ولقد وجد في بعض هذه المعامل ان نظائر البلوتونيوم تمثل الغالبية العظمى من هذه النويدات المشعة وفي معامل اخــرى بلغت نسبــة 71% والبقيــة كــانت الامــريـسيــوم - 241 والكوريوم - 242.

كما انمايطلق من معامل استخلاص الوقود من رذاذ الفا (aerosols) المعـدل يقدر بـ $0.4\ GBq[GW(e)a]^{-1}$ وبـالاضافـة الى ذلك فـان معـامـل

استخلاص الوقود تطلق رذاذا يحوي نويدات مشعة مطلقة لجسيمات بيتا الذي يحوي بصورة رئيسية، السيزيوم – 137 والسترونتيوم – 90 وقد يحوي كذلك $^{95}Z/Nb$ و ^{106}Ru و ^{125}Sb و ^{134}Cs و ^{144}Ce.

النفايات المشعة السائلة

وتشمل هذه النفايات المشعة السائلة النويدات المشعة الناتجة من معامل استخلاص الوقود وتكون حاوية على فعالية الفا وفعالية بيتا والتريتيوم والسترونتيوم – 90 والرثينيوم – 106 وهناك عدد كبير اخر من النويدات المشعة التي تظهر مع النفايات المشعة السائلة.

وتعكس النفايات المشعة السائلة النظائر المشعة التي في الوقود فلذلك تتفاوت فعالية الفا وبيتا الى درجة كبيرة جدا من معمل لاخر حيث بلغت نسبة الرثينيوم – 106 في احد معامل استخلاص الوقود 65% من مجموع فعالية بيتا و 13% من السيزيوم – 137 و 12% من السيريوم – 144 و 7.6% من السترونتيوم – 90 بينما كانت النسب مختلفة عن ذلك لمعمل استخلاص وقود اخر حيث كانت نحو 63% سيزيوم – 137 وسيزيوم – 134 و 11% رثينيوم – 106 و 8.3% سترونتيوم – 90 والباقي يمثل نويدات مشعة اخرى.

5.2.4 خزن وردم النفايات المشعة

يشكل الجزء الذي يطلق الى البيئة من المواد المشعة المتولدة من انتاج الطاقة الكهرونووية جزءا صغيرا فقط ماعدا اليورانيوم والبلوتونيوم ونويدات مشعة اخرى في الوقود المستعمل (Spent feul) هذا وتعتبر النويدات المشعة المتولدة خلال مراحل انتاج الطاقة الكهرونووية نفايات يجب ان تخضع لمعاملة خاصة مناسبة حيث يتوجب خزنها او ردمها.

ويعني الخزن اية ترتيبات نتمكن بواسطتها من استعمال النفايات مستقبلا حيث انه لربما يصعب تداولها لفترة موقتة ولكن هناك نية للاستعمال حيث يتم مراقبة هذه النفايات وتسجيلها.

اما الردم فيعني أنه لا تبقى هنالك اية سيطرة على النفايات المشعة. ومن المفيد التمييز بين النفايات المشعة ذات النشاط الاشعاعي العالي (High level waste) التي تنشأ على هيئة سوائل بعد استخلاص الوقود النووي والتي تكون حاوية على اكثر في 99% من نواتج الانشطار والاكتنيدات (actinides) التي في الوقود وبين النفايات المشعة المتوسطة النشاط الاشعاعي (Inter medi-ate level waste) وبين النفايات المشعة الواطئة النشاط الاشعاعي (Low level waste) التي تتولد عادة من استخلاص الوقود النووي ومن تشغيل المفاعلات. والمثال على ذلك مواد التبادل الايوني المستعملة والمرشحات الهوائية ومرشحات السوائل وبعض المكونات داخل المفاعل مثل قضبان السيطرة والاجهزة والملابس والعدد الملوثة. وهناك مجموعة اخرى من النفايات المشعة وهي المواد الملوثة بالبلوتونيوم وهي نفايات مشعة ذات نشاط اشعاعي واطىء ولكن بسبب عمر النصف الطويل للنويدات المطلقة لجسيمات الفا التي في هذا النوع من النفايات فانها تعامل على انها نفايات مشعة متوسطة.

النفايات المشعة الواطئة والمتوسطة النشاط الاشعاعي

. تعتبر البقايا (Tailing) الناتجة عن طحن اليورانيوم مثالاً على النفايات المشعة الصلبة ذات النشاط الاشعاعي الواطىء. والنفايات المشعة الصلبة ربما تعامل بالتكديس (Compaction) او الحرق (Incineration) لغرض تقليص الحجم قبل ان يتم خزنها او ردمها في الارض قرب السطح (Shallow land) او في مواقع الدفن العميقة (Deep bueral sites) . ان معظم المواقع النووية تصمم لخزن النفايات المشعة الصلبة المتولدة نتيجة اشتغال المفاعل طيلة عمره وربما يعتمد الردم النهائي لهذه النفايات على القرار بالطريقة النهائية

التي سوف تتبع لردم المفاعل نفسه.

يكون طمر النفايات المشعة الصلبة ذات النشاط الأشعاعي الواطىء غير المعامِلِهِ في حفر (Trenches) تغطى بالتربة وبصورة عامة فأن النفايات توضع كما تسلمت مجفورة في التربة وتستعمل الاتربة المزالة لتغطية النفايات بعد ان تملأ الحفر بالنفايات المشعة وفي بعض الاحيان يجري تقليص الحجم الزائد للمساعدة في عملية ازالة الماء ومن المفضل ان تكون مواقع الردم في مناطق ذات كثافة سكانية قليلة وهي غالبا ما تكون مناطق شبه قاحلة وقد يتم الردم في البحر الا ان ذلك يتطلب التأكد من عدم انتشار التلوث بالمواد المشعة من خلال وضع المعايير وتحديد اساليب العمل والمراقبة.

النفايات المشعة العالية النشاط الاشعاعي

يوجد معظم الوقود النووي المشعع الذي ازيل من المفاعلات مخزونا في الوقت الحاضر بانتظار قرارات الدول المعنية الخاصة بردمه بصورة مباشرة او استخلاصه وذلك لاستعمال النويدات القابلة للانشطار مرة اخرى وعند استخلاص الوقود فان النفايات العالية النشاط الاشعاعي تخزن حاليا على شكل سوائل. والغرض من ذلك هو جعلها صلبة مما يزيد من قابلية تداولها وخزنها او ردمها.

لقد قامت بعض الدول باتخاد القرار المناسب لها حول طريقة معاملة هذا النوع من النفايات ففي فرنسا مثلا اتخذ قرار لتحويلها الى مادة صلبة حيث انشيء معمل لتزجيجها (Vitrification) في Marcoule عام 1978 حيث تحول النفايات المشعة العالية النشاط الاشعاعي الى صفائح زجاجية تخزن في منشآت مبردة. وتقوم دول اخرى باجراء التجارب والبحوث لغرض تصليب النفايات العالية النشاط الاشعاعي ولغرض حجب هذه النفايات في حاويات ولغرض ايجاد افضل مواقع للردم.

كما ان طرائق الردم قد درست بصورة واسعة وهي تشمـل الردم في التكوينات الجيولوجية العميقة او الردم تحت قعر المحيط وتجرى دراسات عالمية حديثة حول الابحاث اللازمة لغرض تقدير الردم في المحيط وهنـالك دول متعددة تدرس الردم الجيولـوجي اما في الامـلاح او الصخور الصلبـة مثل الكرانايت والبازلت وبالاضافة الى ذلك فانه توجد امكانية استعمال الصخور الرسوبية بصفة محلات الردم (Re pository) .

والحواجز الاساسية التي تعوق عودة المواد المشعة الى البيئـة هي هيئة النفايات المشعة وحاويـاتها والحجب الجيـولوجي للنفـايات بـين التكوينـات الصخرية عند الانتقال خلال الوسط الجيولوجي وانتشارها وتخفيفها في الوسط الحي (Biosphere) .

ان طرح النفايـات المشعة العـالية النشـاط الاشعاعي من المحـطات النووية لم يتم لحد الان حيث انه يوجد خزين مراقب فقط من قبل السلطات الوطنية للدول المختلفة بانتظار قراراتها حول طرائق المعاملة.

ان الردم في مناجم الأملاح قد يوفر طريقة جيدة ولكن النفايات تكون معرضة للمياه الجوفية الناتجة عن حالة الحوادث (Disruptive event) التي يفترض ان فرص حدوثها تبلغ واحد لكل مئة الف او مليون سنة. والتحليل المفصل لهذه الفرضيات يوضح ان متوسط زمن الوصول للنويدات المشعة ذات الاهمية من ناحية الوقاية من الاشعاع مثل التكنيشيوم - 99 واليود - 129 والسيزيوم - 135 والاكتنيدات للمياه العذبة يبلغ عدة ملايين من السنين.

اما الردم في مقالع الصخور الصلبة فان الحاويات تكون على تماس مع الماء الذي تكون له سرعة جريان بطيئة. كما ان انتقال النويدات التي تذوب خلال المواد العازلة المحيطة بالحاويات سوف يحكم النفاذية التي تكون بطيئة للغاية ويتوقع حجب نويدات مشعة اكثر بواسطة التفاعلات الكيمياوية مـع المادة العازلة مع الصخور الموجودة.

6.2.4 مصادر اخرى للاشعاع ذات علاقة بانتاج الطاقة الكهرونووية

ان المصادر الاخرى للاشعاع ذات العلاقة بانتاج الطاقة الكهرونووية هي نقل الوقود النووي المشعع وتشغيل منشآت البحوث النووية.

النقل

ينقل الوقود النووي غير المشع الى مواقع المحطات الكهرونووية من منشآت تصنيع الوقود وينقل الوقود المشعع من مواقع المفاعلات الى منشآت استخلاص الوقود او منشآت الخزن كما ان نقل المواد المشعة يخضع الى التشريعات الوطنية المستندة الى تعليمات الوكالة الدولية للطاقة الذرية.
والشحنات قد تصل بواسطة السكك الحديدية والطرق البرية والطرق البحرية والجوية. ان عدد الشحنات والمسافة المقطوعة تختلف الى درجة كبيرة من بلد لآخر.

منشآت البحوث النووية

ان جزءاً من النشاط الاشعاعي المطروح الى البيئة من منشآت البحوث النووية ربما يعزى الى المساعدة في استمرارية التشغيل او الى التطويرات المستقبلية للطاقة النووية ومع هذا فانه توجد فعاليات اخرى في المنشآت النووية مثل انتاج النظائر المشعة ومعاملتها وانواع البحوث الاخرى التي تكون مسؤولة عادة عن جزء كبير من النظائر المشعة المطروحة في الجو.

3.4 مصادر الاشعاع الطبيعية المصنعة

تنشأ هذه المصادر الاشعاعية نتيجة التصنيع الذي يحدث ومن امثلة ذلك استعمال الغاز الطبيعي للطبخ والتدفئة واستعمال الفحم لانتاج الطاقة. من الممكن اعتبار الابنية مصادر اشعاع طبيعية مصنعة وذلك للمواد المشعة التي في المواد التي استعملت في انشائها.

1.3.4 توليد الطاقة من الفحم الحجري

يحوي الفحم الحجري كميات ضئيلة من المواد المشعة الطبيعية التي في قشرة الارض ولهذا فان احـراق الفحم يؤدي الى تحرك بعض المـواد المشعة الطبيعية في البيئة وفي اعادة توزيع المواد المشعة الطبيعية من باطن الارض الى مناطق مما يؤدي الى تغيير حقول الاشعاع الطبيعي (Ambient radiation fields) .

ومن هـذه النظائـر المشعة البـوتاسيـوم - 40 واليـورانيـوم - 238 والراديوم - 226 والرصاص - 210 والثوريوم - 232 والـراديوم - 228 وهي تكون مصاحبة للرماد المطائر (Fly ash) .

2.3.4 انتاج الطاقة الحرارية الجيولوجية

تنتج هذه الطاقة في عدد من بلدان العالم ومنها ايسلندا وايطاليا واليابان ونيوزيلندا والولايات المتحدة الامريكية والاتحاد السوفيتي. وهي تشمل المياه الحارة الملامسة للصخور داخل الارض. ان هذه المياه تكون حـاوية بعض النويدات المشعة الطبيعية مثل الرادون ـ 222 .

3.3.4 استغلال الصخور الفوسفاتية

تستخـدم الصخور الفـوسفاتيـة بصورة رئيسـة كمصدر للفسفـور في الاسمدة الفوسفاتية.

كما ان خامات صخور الفوسفات الرسوبيـة تحوي تـراكيز عـالية من اليورانيوم بينما تكون الخامات البركانية حاوية تراكيز قليلة من اليورانيوم.

ان تعدين ومعاملة الخامات الفوسفاتية سوف يؤدي الى اعادة توزيـع اليورانيوم - 238 ونواتج انحلاله على عدة منتوجات تكون مصادر اشعاعية

ونواتج ثانوية ونفايات للصناعات الفوسفاتية.تكون النفايات المشعة السائلة مصدراً مهما للاشعاع كما ان الاسمدة الفوسفاتية تعتبر كذلك مصدراً للاشعاع عند استعمالها كاسمدة في الزراعة. وبالاضافة الى ذلك فان النواتج العرضية قد تستعمل في صناعات الابنية وتكون مصدرا اشعاعيا فيها.

مصادر الاشعاع في النفايات المشعة الناتجة من معامل معاملة الصخور الفوسفاتية

يأتي الجزء الرئيس من المواد المشعة المتحررة في الهواء على شكل مسحوق ناعم للصخور ينتج من عمليتي التجفيف والطحن ولقد قدر ان ما يقارب من 100 بكريل من اليورانيوم - 238 يتم اطلاقه مقابل كل طن من الفوسفات المعاملة.

تستعمل المناطق المستنفذة بعد التعدين (Mined out areas) بركا لردم النفايات الناتجة من عملية التعدين.

المصادر الاشعاعية الناتجة عن استخدام الاسمدة الفوسفاتية

ان اضافة السماد الى التربة يعتمد على نوع التربة ونوع الحاصل المزروع فيها كما ان تركيز النويدات المشعة الطبيعية التي في الاسمدة الفوسفاتية يختلف من دولة الى دولة اخرى حيث ان معظم الاسمدة مشتقة من خامات الفوسفات ويعزى الاختلاف الناتج الى اختلاف مناطق المواد الاولية حيث يتوقع وجود تراكيز عالية من اليورانيوم - 238 عندما تكون خامات الفوسفات رسوبية بينما تكون هنالك تراكيز قليلة منه في الصخور البركانية.

تكون الاسمدة الفوسفاتية مصدرا للاشعاع لعدد محدد من العاملين في انتاجها ونقلها وخزنها واستعمال الصخور والاسمدة الفوسفاتية.

ان اضافة الاسمدة الفوسفاتية الى التربة يضيف فعالية لها وقد تبلغ هذه الفعالية 17 بكريل من اليورانيوم - 238 للمتر المربع و 11 بكريل للمتر المربع من الراديوم - 226 و 704 بكريل للمتر المربع من الثوريوم - 232 و 150 بكريل للمتر المربع من البوتاسيوم - 40.

ومن المتوقع ان يزيد تركيز سلسلة اليورانيوم - 238 في محاصيل الاغذية نتيجة تسميد التربة بالاسمدة الفوسفاتية ومن المتوقع ايضا ان تتلوث الاغذية كثيرا نتيجة اضافة الاسمدة بصورة سائلة الى سطح التربة او من المنتجات الفوسفاتية التي تستعمل لتغذية الحيوانات.

ان بعض المنتجات الفوسفاتية تستخدم مصدراً للفسفور في اعلاف الحيوانات مما يسبب زيادة تركيز الفعالية لبعض النويدات المشعة مثل الراديوم - 226 في المنتجات الحيوانية مثل الحليب الذي دلت بعض الدراسات على وصول تركيزه الى نحو 25 بكريل في المتر المكعب بينما يقدر التركيز في الحليب الطبيعي بين 3- 10 بكريل للمتر المكعب .

مصادر الاشعاع الناتجة عن استخدام النواتج العرضية والنفايات

يكون الناتج العرضي الرئيس لمعاملة خامات الفوسفات في معامل انتاج حامض الفسفوريك هو الجبس (Gypsum) او فوسفات الجبس (Phosphgypsum) وسلكات الكالسيوم الطينية (Calicium silicate slag)
ان هذه النواتج الثانوية تصبح مصادر اشعاعية اذا استعملت في مواد البناء بالاضافة الى السكن في الاراضي التي انجز تعدين الفوسفات فيها وسمح للسكن بها.

كما ان معظم الراديوم - 226 الذي في خامات الفوسفات يذهب الى الجبس الفوسفاتي حيث يبلغ تركيز فعالية الراديوم - 226 فيه 900 بكريل لكل كيلو غرام. والجبس الفوسفاتي يمكن ان يعوض عن الجبس الطبيعي في

صناعات البناء لعمل البلوكات والالواح (Plaster board) والحواجز وكذلك الاسمنت وكتل البناء مما يشكل مصدرا اشعاعيا لسكنة الابنية التي استعملت هذه المواد في انشائها.

تحوي سلكات الكالسيوم عادة على تراكيز للنويدات المشعة الطبيعية مثل اليورانيوم - 238 وقد تستعمل في صناعة قضبان السكك الحديدية والاسفلت والكونكريت وبعض الاستعمالات الاخرى كتبليط الطرق والممرات مما يجعلها مصادر اشعاعية لتعرض العاملين ومن لهم تماس مع هذه المواد.

4.4 مصادر الاشعاع في السلع الاستهلاكية

من الممكن تقسيم المنتجات الاستهلاكية التي تحتوي على مواد مشعة الى خمسة اقسام بصورة عامة وهي :

1.4.4 الاجهزة ذات الارقام المضيئة (Radioluminous products)

يستعمل الراديوم - 226 والبروميثيوم - 147 والتريتيوم بصورة كبيرة في صناعة اصباغ الارقام لغرض اضاءة اجهزة قياس الزمن حيث يحول الاشعاع المنبعث الى ضوء. كما ان اكثر الساعات اليدوية تكون حاوية التريتيوم بينما يستعمل البروميثيوم - 147 والراديوم - 226 اكثر من التريتيوم في الساعات المنضدية.

ان فعاليات الترتيوم والبرميثيوم - 147 التي تنتج نفس الضوء المتوهج التي تنتجها 37KBq من الرادون - 226 تقدر بـ 200TBq من التريتيوم و 6TBq من البروميثيوم- 147 للساعات المصنوعة حديثا. ونتيجة لظاهرة الانحلال الاشعاعي فان التوهج يقل نتيجة تلف المادة المتلالئة (Phosphore) خلال العمر الذي تستعمل فيه الساعة كما ان انتاج الساعات الحاوية على

الراديوم – 226 قد توقف في بلدان متعددة.

ان معظم الساعات المضيئة ليلا المستعملة حاليا مطلية بالـتريتيوم ان معدل التريتيوم في هذه الساعات يبلغ 37MBq للساعات اليدوية و 60MBq للساعات المنضدية.

وتستعمل المواد الوهاجة كذلك في العلامات وارقام التلفونات.

2.4.4 الاجهزة الكهربائية والالكترونية

تحوي بعض مانعات الكهربائية المستقرة عناصر مشعة وتستعمل هذه المواد بصورة واسعة في الصناعة لتخفيف الشحنة الكهربائية المتجمعة عـلى بعض المواد حيث يقوم الأشعاع بتايين الهواء الملامس للاجسام المشحونة وبهذا يسمح للشحنة بان تعادل.

ان موانع الكهربائية المستقرة التي يستخدم فيها البولونيوم – 210 قد تصنع وتسوق لعامة الناس حيث تستعمل لازالـة الغبار من المـواد المختلفة ويحوي كل واحد من هذه المانعات نحو 20MBq للبولونيوم – 210 .

هنالك مواد استهلاكية لا تحتوي على موادا مشعة ولكنها تبعث الاشعة السينية وذلك بسبب تعجيل الالكترونات ومثال شائع على ذلك هـو اجهزة التلفزيون وكواشف الامتعة وغيرها.

3.4.4 كواشف الدخان (Smoke detectors)

ان النظير المشع المفضل لهذه الكواشف هو الامريسيوم – 241 وهنالك كـواشـف حـريق تحـوي مـصـادر مـشـعـة مختـلفـة اخـرى مـثـل الراديوم – 226 والبلوتونيوم – 238 والكربتون – 87 والنيكـل – 63 كما ان هذه الكواشف تستعمل بكثرة في الابنية الاقتصادية والتجارية والمحلات العامة وفي بعض البيوت كذلك.

ويبلغ النشاط الاشعاعي الذي في كاشفة الحريق الحاوية على الامريسيوم - 241 1.5TBq .

4.4.4 السيراميك والادوات الزجاجية

يكون استعمال اليورانيوم في المنتجات الاستهلاكية اما للون او لكثافته العالية. كما ان الثوريوم يستعمل في بعض انواع الاوعية (Incandescent mantles) وفي بعض العدسات الضوئية.

تحوي بعض العدسات الضوئية على نحو 30% بالوزن من اليورانيوم والثوريوم وبالاضافة الى ذلك فان بعض زجاج العدسات (Opthalmic glass) يحوي على تراكيز عالية من اليورانيوم والثوريوم نتيجة طبيعية لصنع الزجاج ولقد وضعت حدود طوعية في الولايات المتحدة الامريكية لهذا النوع من الزجاج وهي 0.5 بكريل لكل غرام للنشاط الاشعاعي المنبعث من زجاج العدسات حداً اقصى للنظائر المشعة اكتنيوم - 228 والرصاص - 212 والرصاص - 214

كما ان اليورانيوم يستعمل كذلك في الخزف المستعمل في صناعة وعلاج الاسنان. ان مركبات اليورانيوم والسيريوم تستعمل في معظم المواد الخزفية وذلك لاعطاء نفس اللمعان للاسنان الطبيعية. وتحدد كثير من الدول كمية اليورانيوم التي يسمح باستعمالها في مسحوق الخزف والاسنان الاصطناعية بنسب تتراوح بين 0.05 - 0.1% .

الفصل الخامس

حسابات الجرع الاشعاعية

Radiation Dose Calculations



الفصل الخامس
حسابات الجرع الاشعاعية
Radiation DoseCalculations

تشمل الجرع الاشعاعية المتسلمة من قبل العاملين في حقول الاشعاع وعامة السكان الجرع الاشعاعية الناتجة عن التعرض الخارجي للاشعاع والجرع الاشعاعية الناتجة عن دخول المواد المشعة الى الجسم مما يسبب تعرضاً داخليا ومن الناحية الاخرى فان التعرض الى الاشعاع قد يتعلق بالافراد او يتعلق بالمصادر.

1.5 التقديرات المتعلقة بالافراد

تجري التقديرات الاولية للتعرض الى الاشعاع فيما يخص الافراد باستعمال الجرع الممتصة وجرع اشعاعية اخرى.

1.1.5 التشعيع الخارجي

يتطلب تقدير الجرع الممتصة في انسجة الجسم من التشعيع الخارجي معرفة الطاقة وزاوية التوزيع (Angular distribuion) ومعدل دفق الطاقة (Fluence rate) لكل من مكونات الجسيمات المشحونة في المجال الاشعاعي.

كما ان هذا التوزيع التفاضلي يحصل عليه عادة بواسطة القياسات الطيفية (Spectrometric measurements) ولكن بصورة عامة تتوفر قيم محسوبة لتوزيع مصادر معروفة. ان معظم القياسات تصف المجال بغياب الشخص المعرض وهذا ما يعرف بظروف خلو المتسلم (Receptor free Conditions).

تستعمل سرعة اعطاء الجرع في الهواء Da لوصف حالات التعرض البيئي الناتجة عن النويدات المشعة المطلقة لاشعة كاما وهي توصف بصورة عشوائية اذا كانت هنالك حالة توازن الكتروني ثانوية كاملة في الهواء. ان تقدير الجرع الممتصة يمكن ان يحصل عليه من هذه القيم البيئية لانسجة واعضاء الجسم تحت الدراسة. ان هذا يشمل عددا من الفرضيات حول

العوامل التي تؤثر في حسابات الجرع العميقة وعن زمن تعرض الانسان الى مختلف المجالات الاشعاعية.

يستند تقدير الجرع الاشعاعية للشخص المتسلم لها في المنطقة ذات الاهتمام ولانسجته الى معرفة الجرع الممتصة في الهواء ويشمل ما يلي:

1 ـ كتلة الطاقة الممتصة (Mass energy absorption)

2 ـ عمق الانتقال (Depth transmission)

3 ـ التشتت المرتد (Back scatter)

4 ـ درجة التناظر (Degree of isotropy)

ان عامل كتلة الطاقة الممتصة هو النسبة بين معاملات كتلة الطاقة الممتصة للنسيج والهواء وتستعمل نسبة 1 :1 بوصفها قيمة. اما العوامل الاخرى فأنه لهاعلاقة لبعضهاالبعض حيث ان التشتت المرتد ربما يؤدي الى زيادة معدل الجرعة على السطح ولكن الجسم سوف يعمل بصفة درع وبذلك يقلل معدل الجرعة.

يعتمد التأثير النهائي على موقع النسيج الذي يجري تقدير الجرع الاشعاعية المتسلمة من قبله وعلى الطاقة والتوزيع الزاوي للاشعاع وفيما عدا الحالة النادرة التي يكون فيها المجال الاشعاعي باتجاه واحد وان الشخص المعرض لا يتحرك فان العمق الظاهري لنسيج او عضو يمكن حسابه من المتوسط الموزون للامتصاص خلال الجسم الذى يحدث عندما تدخل الاشعة من اتجاهات متعددة.

كما ان الاختلاف بين المجال ذي الاتجاه الواحد والمجال المتعدد الاتجاهات (Isotropic field) يعبر عنه بالفرق بين سرعة الجرعة الممتصة على اي عمق للمجالات التي تنتج نفس معدل الجرع الممتصة في الهواء تحت ظروف عدم وجود المتسلم.

ان نسبة الاختلاف بمعدل الجرع الممتصة لا يمكن ان يتجاوز ضعفا للنقاط القريبة عن سطح الجسم ويقترب من واحد قرب مركز الجسم. ان احسن قيمة يمكن استعمالها حاليا هي 0.7 .

كما ان الكمية الاخرى التي نستطيع بواسطتها وصف ظـروف غياب المتسلم هي دليـل الجـرع الممتصـة (Absorbed dose index) ومختصرة DI وهو ما يعرف بالجرعة العميقـة القصوى التي يمكن ان تحـدث لكرة مكافىء نسيج نصف قطرها 30 سنتمترا موضوعة بحيث يكون مركزها هو النقطة التي تحظى باهتمامنا.

وهـذه الكمية تستعمـل مثالا لـوصف التشعيع النـاتج عن الاشعـة الكونية. انها تفرض ان دليل الجرع الممتصة يمثل بصورة جيدة الجرع الممتصة في النسيج في المنطقة المثيرة لاهتمامنا.

ان احد العوامل التي تعقد حسابات الجـرع هو ان الجـرع لا تكون بصورة عامة موزعة بصورة منتظمة على الجسم واذا كان المصدر الاشعاعي على مسافة من المنطقة التي يتطلب ايجاد تعرضها فانه سوف يكون لها تـأثير مختلف على اجزاء المنطقة استنادا الى مسافتها من المصدر وعلى توهين الاشعاع بواسطة المادة التي تقع بين المصدر ونقطة الجرعة.

كما ان متوسط الجرع لا يجرى حسابه عادة لمساحة تقل عن سنتمتر مربع واحد او لحجم يقل عن سنتمتر مكعب واحد ولـربما دعت الضرورة ايجـاد متوسط الجرع على مساحات اصغر مثـل الجرع المسببـة للحامض النـووي DNA المعلم بالتريتيوم الذي يـتركز في كـروموسـومات الخـلايا والجـرع الاشعاعية تحسب في هذه الحالة بواسطة ايجاد متوسط الطاقة الداخلة عـلى حجم النواة بدلا عن الخلية باجمعها.

ان حساب الجرع الممتصة يعود الى معرفة معدل الجرع الذي بدوره يتطلب معرفة مصدر الطاقة وكثافة الفيض ومعدل امتصاص الاشعاع لوحدة طول المسار حول النقطة التي تهمنا.

ان كثافة الفيض تعتمد على مصدر الاشعاع.

2.1.5 الاشكال الهندسية لمصادر الاشعاع

من الممكن وصف مصادرالاشعاع بالنسبة إلى اشكالها والتي تقسم عادة الى اربعة اشكال هندسية وكما يلي :

1 ـ المصدر النقطي (Point Source) (s) (فوتون/ ثانية)

2 ـ المصدر الخطي (Line Source) SL (فوتون /سم/ ثانية)

4 ـ المصدر المساحي (Area Source) SA (فوتون/ سم^2 ـ ثانية)

4 ـ المصدر الحجمي (Volume Source) SV (فوتون/ سم^3 ـ ثانية)

حساب كثافة الفيض

ولغرض حساب كثافة الفيض يجب ان تضرب قوة المصدر بطاقة الفوتونات واشكال انحلالها. هنالك عوامل تتداخل في حساب كثافة الفيض هي التوهين (Attenuation) والتراكم (Buildup) والامتصاص الذاتي (Self absorption) بالاضافة الى ان المصادر قد تكون منتظمة او غير منتظمة وبصورة عامة فان الفعالية في المصادر المشعة تعتبر منتظمة ما لم يأت تحديد مخالفَ. ان بعض الحالات التي يكون فيها توزيع المصادر غير منتظم هو قلب المفاعل النووي.

كما ان التوهين يصبح عاملا مهما عندما يتم وضع الاجسام المتصة بين المصدر والنقطة التي تهمنا والتوهين يكون بصورة عامة معتمدا على الطاقة كما ان التراكم يصبح مهما كذلك عندما تكون الاجسام المتصة واقعة بين المصدر والنقطة التي تهمنا ويعتمد التراكم بصورة عامة على الطاقة وانه يجب ان يعامل بهذه الكيفية لاية مصادر لا تكون احادية الطاقة.

كما ان الامتصاص الذاتي يمكن ان يكون مهما للمصادر الحجمية وخاصة عندما تكون إبعاد المصدر لها نفس المقدار الكمي لمتوسط مسار الفوتون الحر في المادة وهو يعتمد كذلك على الطاقة.

1 ـ المصدر النقطي المتساوي الاتجاهات (Point isotropic source)

بالرغم من ان لمصادر الاشعاع ابعادا محددة، فأنها تكون صغيرة بما فيه الكفاية مقارنة بالمسافة من نقطة القياس الى المصدر بحيث ان المصدر يعامل بصفة نقطة والفرضية ان المصدر هو نقطي متساوي الاتجاهات تشير الى ان توزيع المصدر يكون منتظما وان امتصاص الفوتونات في المصدر يمكن اهماله.

ان كثافة فيض الفوتون في نقطة أ يتمثل بعدد الفوتـونات التي تعـبر المسافة Ar في وحدة الزمن

$$\phi = S/Ar \quad ....(5 - 1)$$

حيث ان S تمثل المصدر وان ϕ هي كثافة الفيض

فيما يخص الاحداثيات الكروية = $4\pi r^2$

وبهذا فأن

$$\phi = \frac{S}{4\pi r^2} \quad .... (5.2)$$

واذا ما وضع ممتص بين S و P فانه يجب اخذ توهين الفوتون بنظر الاعتبار وبهذا تصبح المعادلة

$$\phi = \frac{S}{4\pi r^2} e^{-\mu t} \quad ....(5.3)$$

حيث ان μ هي معامل التوهين الكتـلي و K هو كثـافة الممتص بوحدات غرام/سم^2

من الممكن اخذ التراكم بنظر الاعتبار بواسطة ضرب المعادلة الاخيرة بمعامل التراكم المناسب B بحيث تصبح المعادلة

$$\phi = \frac{S}{4\pi r^2} Be^{-\mu t} \quad ....(5.4)$$

ان القيمة القديمة هي $\phi = (N/4\pi d^2)T(d)$ Particle or photon/ cm^2.s. 5.5

2 ـ المصدر الخطي (Line source)

ان كثافة الفيض في نقطة أ من مصدر خطي طوله L يعتمد على الموقع أ بالنسبة للخط .

يؤخذ بنظر الاعتبار ثلاث نقـاط الاولى P1 (الشكل5.1أ) حيث تكون كثافة الفيض

$$\phi_1 = \frac{SL}{4\pi h}\left(|\Theta_2| - |\Theta_1|\right) \quad \ldots\ldots(5.6)$$

اما النقطة P2 (الشكل 1.5ب) فان كثافة الفيض لهذه النقطة تكون

$$\phi_2 = \frac{SL}{4\pi h}\left(|\Theta_2| + (|\Theta_1|)\right) \quad \ldots\ldots(5.7)$$

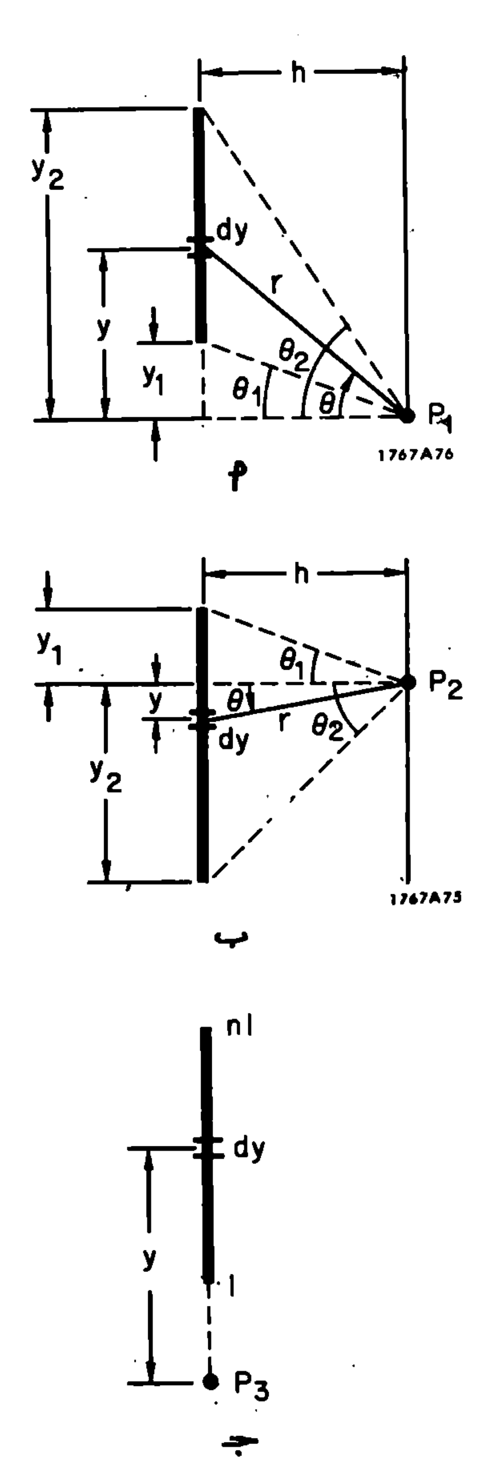
والنقطة الثالثة P3 (الشكل 1.5جـ) تكون كثافة الفيض لها

$$\phi_3 = \frac{SL}{4\pi nl}\left(n - 1\right) \quad \ldots\ldots(5.8)$$

لقد استعملت القيمة

$$\phi = (N/2\pi d)\ \tan^{-1}\frac{L}{d} \quad \ldots\ldots(5.9)$$

سابقا حيث تمثل N عدد الجسيمات او الفوتونات المنبعثة في الثانية لوحدة الطول بالسنتمتر من المصدر و d = المسافة بالسنتمتر على عمود من منتصف المصدر و L= نصف طول المصدر بالسنتمتر .



الشكل 1.5 كثافة الفيض لنقاط حسب موقعها من مصدر خطي

من الممكن التقريب واعتبار المصدر الخطي مصدرا نقطي وفي ابسط الحالات الهندسية تكون

$$\phi 2 = \frac{SL}{4\pi h} \left(|\Theta_2| + |\Theta_1| \right) \quad ......(5.7)$$

وفيما يخص الزوايا الصغيرة فان من الممكن التقريب واعتبار

$\tan |\Theta| = |\Theta|$

وفي حالات التي يكون فيها $|\Theta_1| = |\Theta_2|$

و $\tan(\Theta_1) = \tan(\Theta_2) = L/2h$

وبهذا فان $(\Theta_1) + (\Theta_2) = L/h$

في تقريب الزوايا الصغيرةوبهذا فان

$$\phi 2 = \frac{S_L L}{4\pi h^2} \quad ....(5.10)$$

التي هي معادلة لمصدر نقطي يكون فيها

$S = S_L L$

كما ان التقريب للزوايا الصغيرة صالحا لغاية نحو 10% $(\Theta < 30°)$

وبما ان ظل $30° = 0.58$

فان من الممكن معاملة المصدر الخطي مصدراً نقطي للقيم $L/h < 1.2$

او عندما تكون المسافة الفاصلة h اكبر من طول الخط L .

3-مصدر مساحي (Area source)

ان المصدر المساحي المعني هنا هو مصدر متوزع بصورة منتظمة على سطح كما هو موضح في الشكل 2.5 كما ان كثافة الفيض التفاضلية للنقطة أ معطاة بالمعادلة

$$d\phi = \frac{S_A dA}{4\pi p^2} \quad ..... (5.11)$$

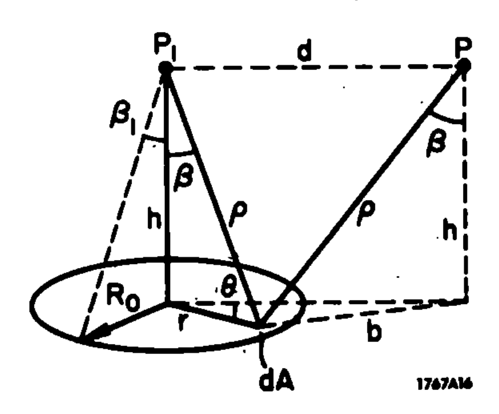
$$\phi = \frac{SA}{4}(ln)\frac{Ro^2 + h^2 - d^2 + \sqrt{(Ro^2 + h^2 - d^2)^2 + 4d^2h^2}}{2h^2} \quad .... (5.12)$$

اما في حالة P1 التي تقع على محور القرص

$d = o$

$$\phi_1 = \frac{SA}{4} \ln \left(\frac{Ro^2 + h^2}{h2}\right) \quad ...... (5.13)$$

حيث ان N هو عدد الجسيمات او الفوتونات المنبعثة في الثانية لوحدة مساحة المصدر و R هو نصف قطر المصدر بالسنتمتر و d هي المسافة للنقطة من المصدر على طول المحور المركزي العمودي على مستوى المصدر.



الشكل 2.5 كثافة الفيض لنقاط تقع على ابعاد مختلفة لمصدر مساحي

لقد استعمل سابقا

$$\phi = \frac{N}{4} \log \left[\frac{R^2}{d^2} + 1\right] \text{ Particle or photon/ Cm}^2 \text{ — sec} \quad ...... (5.14)$$

ان من الممكن اعتبار القرص مصدرا نقطيا لبعض النقاط البعيدة عن القرص .

$$S = SA\,\pi\,R_o^2 \;\ldots\ldots\ldots\ldots (5.15)$$

وبهذا تصبح معادلة المصدر النقطي

$$\phi \simeq \frac{SA\,\pi\,Ro^2}{4\,\pi\,h^2} = \frac{SA}{4}\;\frac{R_o^2}{h2} \;\ldots\ldots\ldots (5.16)$$

واذا تم اختيار النقطة P1 التي تبعد بالمساحة h فان التقريب يكون

$$\frac{SA}{4}\;\frac{R_o^2}{h2} \approx \frac{SA}{4}\;\ln\frac{(R_o^2 + h^2)}{h2} \;\ldots\ldots\ldots (5.17)$$

وفي الحالة الخاصة التي تكون فيها P_1 على محور القرص

وبهذا يكون

$$d = o$$

$$\frac{Ro^2}{h2} \approx \ln\frac{(Ro^2 = h^2)}{h2} \;\ldots\ldots (5.18)$$

$$-\frac{R_o^2}{h^2} \approx 1 - e\;\; R_o^2/h^2 \;\ldots\ldots\ldots (5.19)$$

ان هذا التقريب يكون صالحا ضمن 10% عندما تكون

$$R_o^2/h^2 < 0.20 \;\ldots\ldots\ldots (5.20)$$

$$Ro/h < 0.45 \;\ldots\ldots (5.21)$$

او

وبهذا فان المصدر القرصي يمكن ان يعامل بصفة مصدر نقطي عندما تكون

$$h > 2.2\,Ro \;\ldots\ldots (5.22)$$

او عندما تكون المسافة الفاصلة h هي اكبر من المصدر 2Ro

4- مصدر حجمي Volume Source

هنالك مصادر حجمية معقدة قد يكون على شكل شريحة (Slab source) او على شكل اسطوانة او على شكل كرة.

وفيما يخص المصادر الشريحية فانها تكون مشابهة للمصادر المساحية . عدا ان لها سمكا وبهذا يمكن التعامل معها بعد ان يأخذ الامتصاص الذاتي بنظر الاعتبار في البداية. ان كثافة الفيض لشريحة ذات سمك غير محدود في حالة عدم وجود ممتص بين المصدر والنقطة التي تهمنا معطى بالمعادلة

$$\phi = \frac{S_V}{2\mu_s}\left[1 - E_2(\mu_s h)\right] \quad ..... (5.23)$$

حيث تكون μ_s معامل التوهين الخطي لمادة المصدر و h هو بسمك المصدر و E_2 هو تكامل اسي (Exponential integral)، يأخذ من الجداول كما ان كثافة الفيض للفوتون الابتدائية على سطح مصدر شريحة غير محدودة السمك ذي مقدار محدد هو

$$\phi \doteq \frac{S_V}{2\mu_s} \quad .... (5.24)$$

اي عندما تكون

$$\mu t = 0$$

و

$$\mu_s h \longrightarrow \infty$$

اما الاسطوانة فان من الممكن تقريب المصدر الى قوة مصدر خطي

Sl = TT Ro² Sv ...... (5.25)

حيث يمثل Ro نصف قطر الاسطوانة الذي يقع ضمن الاسطوانة لغرض اخذ الامتصاص الذاتي بنظر الاعتبار بصورة دقيقة.

و نفس المبدأ يمكن ان يطبق على الكرة وذلك عن طريق التعويض بواسطة قرص له نفس نصف قطر الكرة والذي يكون له قوة لوحدة المساحة

SA = 4Ro Sv/3 .... (5.26)

يوضع في مكان مناسب وان ذلك ينطبق فقط على الدرع العمودي على الخط الواصل بين مركز الكرة والنقطة أ وفي هذه الحالة يكون الحل تقريبيا.
لقد تطرقنا الى حساب كثافة الفيض لمصادر مختلفة الاشكال وبعد حساب كثافة الفيض هذه فان مسألة حساب الجرع الممتصة تكون بسيطة حيث يجري حساب كثافة الفيض في نقطة ما ويتم بعد ذلك ضربها بطاقة الفوتونات للحصول على كثافة فيض الطاقة وضربها بعد ذلك بمعامل امتصاص الطاقة الكتلي لحساب الطاقة التي جرى ادخالها الى النقطة المرادة واخيراً وباستعمال الثوابت الملائمة لغرض تحويل الوحدات الى راد او غراي وضربها بالزمن الذي بقيت فيه كثافة الفيض للفوتون لاعطاء الجرع الممتصة وحسابياً

$$D(Gy) = 1.6x10^{-6} \phi (cm^{-2} sec^{-1}) E (MeV) \mu_{en}/\rho (cm^2 g^{-2}) t(sec) \quad .. (5.27)$$

وان الكمية μ_{en}/ρ التي تدعى معامل امتصاص طاقة الكتلة
(Mass energy absorption coefficient)
يمكن ان يحصل عليه من جداول خاصة ولهذا يقرب الى درجة مقبولة.
كما ان الصعوبة تكمن في الاشكال الهندسية للمصادر وكذلك اضافة الموهنات التي تسبب الحاجة الى التصحيح للتشتت وبالاضافة الى ذلك فانه لابد من اخذ الطيف الطاقي للفوتونات (Energy spectrum) بنظر الاعتبار حيث ان المصادر لا تكون بصورة عامة احادية الطاقة.
واخيرا فانه مما يجدر معرفته ان كثافة الفيض ومن ثم معدل الجرع ربما لا يكون ثابتا مع الزمن واذا كان المصدر نويدة مشعة فان تغير كثافة الفيض المعتمد على الزمن يحسب بواسطة عمر النصف للنويدة ولكن من النادر ان تكون المصادر الاشعاعية بسيطة واذا ما كان المصدر مكونا من عدة نويدات مشعة مثل نواتج الانشطار او مفاعل في حالة الاشتغال او معجل فان معالجة مسألة تغير الفيض مع الزمن تكون مسألة معقدة.
وهناك بعض المعادلات المفيدة لحساب معدل الجرع من المصادر النقطية

ومنها :

1 ـ مطلقات اشعة كاما

من الممكن حساب معدل الجرعة التقريبي من مصدر كاما باستعمال المعادلة

$$D = \frac{ME}{6r^2} \ldots\ldots (5.28)$$

حيث ان D هي معدل الجرعة $\mu Sv/h$
و M هي فعالية المصدر MBq
و E هي طاقة كاما لكل انحلال
و r هي المسافة عن المصدر بالامتار.

كما ان معدل الجرعة على مسافة متر واحد يمكن ان تحسب باستعمال المعادلة

$$D = 0.54\ E\,Ci \quad rad / h \ldots. (5.29)$$

لطاقات كاما التي تتراوح بين 0.3 الى 3 MeV حيث ان Ci هي
قوة المصدر بالكيوري

2 ـ مطلقات دقائق بيتا

ان معدل الجرعة لمطلقات دقائق بيتا على مسافة 10 سنتمترا هي

$$D = 2700\ Ci \quad rad / h$$

حيث يتغير معدل الجرعة ببطئ مع تغيير طاقة بيتا .

3ـ اشعة كاما ودقائق بيتا

ان معدل الجرعة على سطح المصدر الذي يكون على شكل لوحة كبيرة هو:

$$D = 1.07\ S\ E \quad rad/h \qquad \ldots\ldots (5.30)$$

حيث ان S هي الفعالية النوعية للمصدر بوحدات $\frac{UCi}{g}$ وE هو معدل الطاقة بـ MeV لكل انحلال .

3.1.5 العلاقات التي تشمل الانحلال الاشعاعي والطرح البايولوجي

ان فقدان الذرات للنويدات المشعة من منطقة ربما يعود ليس فقط الى الانحلال الفيزياوي ولكن كذلك الى الطرح البايولوجي للنويدة من المنطقة . ان السرعة الكلية لفقدان الذرات هي مجموع سرع الفقد من الانحلال الفيزياوي ومن الطرح البايولوجي .

ومن الممكن استعمال ثابت الانحلال البايولوجي (Biological decay constant) ويرمز له λ_b للتعبير عن الطرح البايولوجي .

ان مجموع معدلات الفقدان التجزيئي (Total fractional rate of loss) يدعى ثابت الانحلال المؤثر (Effective decay constant)

ويرمز له λ_e ان ثابت الانحلال المؤثر يساوي معدل الانحلال الفيزياوي الجزئي (Physical fractional rate of decay) ويمكن تمثيله بالمعادلة

$$\lambda_e = \lambda_p + \lambda_b$$

ونتيجة للطرح البايولوجي فان متوسط العمر المؤثر للذرات المشعة في النسيج يكون اقل من متوسط العمر الفيزياوي اذ ان نفس العلاقة لمتوسط العمر الفيزياوي

$$T_p^* = \frac{1}{\lambda_p} \quad \ldots. \ (5.32)$$

يمكن ان يعبر بها عن متوسط العمر المؤثر

$$T_e^a = \frac{1}{\lambda_e} = \frac{1}{\lambda_p + \lambda_b} \quad (5.33)$$

وان عمر النصف المؤثر يعبر عنه

$$T_e^h = \frac{0.693}{\lambda_p + \lambda_b} - \frac{T_p^h \times T_b^h}{T_p^h + T_b^h} \quad \ldots.. \ (5.34)$$

اننا نستطيع حساب عدد الانحلالات الكلي في فترة زمنية فيما لو كان هنالك انحلال فيزياوي وطرح بايولوجي حيث تحسب بطريقة فيما لو كان عندنا انحلال فيزياوي فقط ولكن باستعمال متوسط العمر المؤثر بدلا عن متوسط العمر الفيزياوي وبهذا فان عدد الانحلالات التي يمكن ان تحدث في منطقة يعطى ناتج الفعالية الاولية وبمتوسط العمر المؤثر للفعالية في المنطقة.

ان عدد الانحلالات على مدى فترة زمنية معينة يعطى من نتاتج العدد الكلي للانحلالات اللازمة لتكملة الانحلال التام مضروبا بالجزء من مجموع الذي يحدث في تلك الفترة الزمنية.

2.5 تقديرات الجرع المتعلقة بالمصدر

يتم في تقديرات الجرع المتعلقة بالمصادر تأكيد عدد من التأثيرات التي تحدث نتيجة الاشعاع بدلا من حساب احتمالية التأثيرات لكل فرد ومع هذا فأن المعلومات الاساسية تقام على اساس متوسط الجرعة الممتصة في كل فرد من افراد المجتمع المشعع كما انه يمكن تحوير الجرع الممتصة لاعطاء مكافىء الجرع.

وحيث ان من الصعب التعامل مع الجرع الممتصة او مكافىء الجرع دائما في المجتمعات المشععة عليه يلجأ الى استخدام كميات جماعية هي مجاميع موزونة للجرع الممتصة في كل فرد مشعع ويتطلب ذلك الحصول على معلومات حول مكونات الكميات المتجمعة التي تبين الاختلافات في متوسط الجرع الممتصة او مكافىء الجرع الى اقسام من مجاميع السكان في كلا الفراغ والزمن. ان معدل مكافىء الجرع المتجمعة ورمزه $\dot{S}$ يعرف بانه تكامل ناتج معدل مكافىء الجرع الناتجة من المصدر المشع وعدد الافراد في السكان المشععين المتسلمين لتلك الجرع المكافئة حسب المعادلة

$$\dot{S} = \int \dot{H} N(\dot{H})\, d\dot{H} \quad \dots (5.35)$$

حيث يمثل $N(\dot{H})d\dot{H}$ عدد الافراد المتسلمين الى معدل جرع مكافئة تقع بين $\dot{H}$ و $\dot{H} + d\dot{H}$

ومن الممكن ايجاد تكامل معدل مكافىء الجرع المتجمعة بدلالة الزمن حيث انه يمكن الاستمرار في التكامل الى ما لا نهاية.

ان الكمية الناتجة تدعى مكافىء الجرع المتجمعة المخصصة من المصدر S_k^c وتعرف هذه الكمية بالمعادلة

$$S_k^c = \int_0^a Sk(t)dt \quad ..... (5.36)$$

وان هذه لها علاقة دائما بالمصدر الخاص K

ان متوسط الكميات او الكميات لكل فرد مفترض (per caput) يمكن ان تعرف بواسطة تقسيم الكميات المتجمعة على حجم المجتمع كما في المعادلة

$$\bar{\dot{H}} = \frac{\dot{S}(t)}{N(t)} \quad .... (5.37)$$

حيث يمثل $\bar{\dot{H}}(t)$ معدل مكافىء الجرعة لكل فرد و $N(t)$ هو حجم السكان في الزمن t ولربما كان مناسبا اكثر تحت ظروفا اخرى حساب الكميات لكل فرد بدلا من الكميات المتجمعة.

ولغرض تبسيط عملية حساب الجرع الاشعاعية المتعلقة بالمصادر توضع نماذج تمثل العلاقة بين المصدر والسكان المعرضين.

1.2.5 النماذج البيئة

من الممكن قياس سرعة امتصاص الجرع في الهواء من النويدات المشعة التي فيه او المترسبة على الارض في عدد كاف من الاماكن وفي اوقات كافية وعندما يصبح تقدير الجرع الممتصة من قبل الافراد والسكان نتيجة التعرض الخارجي للاشعاع ممكنا دون الحاجة الى نماذج انتقال بيئية لوصف الطريقة التي

تترسب فيها النويدات المشعة او تصبح عالقة في الهـواء من المصدر وبنفس الطريقة فانه اذا كان بالامكان قياس تراكيز الفعالية في انسجة اعضاء الجسم لعدد كاف من البشر فان الجرع الممتصة الناتجة من دخول المواد المشعة يمكن تقديرها باستعمال نماذج قياس الجرع فقط دون الحاجة الى نماذج انتقال بيئية تمثل انتقال المواد المشعة في البيئة ومن الممكن قياس الجرع الداخلية بطريقة اقل مباشرة وهي قياسات تركيز الفعالية للنويدات المشعـة من الهواء او المـواد الغذائية وفي هذه الحالة فان المعلومات الاضافية المطلوبة هي سرعة التناول للنويدات المشعة في الهواء او في المواد الغذائية المعنية ونموذج مقياس الجرع الملائم للحصول على الجرع الممتصـة في الاعضاء والانسجـة بعد الـدخول. تستعمل هذه الطرائق الاقل مباشرة كذلك لبعض النويدات المشعة الناتجة من التفجيرات النووية بوصفها اضافـة لبعض برامـج القياسـات المحددة عـلى البشر، كما انها تستعمل لغرض تقدير الجرع الممتصة للمجاميع الحرجة من السكان المعرضين نتيجة اطـلاق المواد المشعـة بصورة متعمـدة من المنشآت النووية ولعدد محدد من النويدات المشعة.

كما ان القياسات المباشرة في بعض الاحيان غير عملية وقد يعود ذلك الى الصعوبات التقنية الخاصة بقياس الفعالية للمواد المشعة تحت الدراسة في الوسط الملائم او الى صعوبة الحصول على نماذج او ان عدد النويدات المشعة وطرائق الانتقال كثيرة جدا وقد تكون القيـاسات المبـاشرة غير عمليـة لانه يتطلب التكهن بسرعة تسلم الجرع على سبيل المثال لاشتقاق الجرع المتجمعة المخصصة بدلا من القياسات التي يجب ان تجري بعد او عند اعطاء الجرع وفي هذه الحالات فانه يتطلب نماذج لاشتقاق الجرع وتوزيع الجرع من المعلومات عن النويدات المشعة المطروحة الى البيئة وسرعة الاطلاق.

وهذه النماذج البيئية هي تمثيل حسابي بسيط لعمليات الانتقال الواقعية وتكون بعض هذه المعلومات مفهومة بصورة جيدة ويمكن وصفها بصورة دقيقة بمـا فيه الكفـاية بـواسطة النـماذج الريـاضية التي تعتمـد بصورة كبيرة على القيـاسـات. ان انتقـال النـويـدات المشعـة التي في المتسـاقـطات مثـل

السترونتيوم - 90 خلال سلسلة الغذاء يكون مثالا على ذلك.

يعتمد استعمال نوع معين من النماذج على المعلومـات المطلوبـة اوعلى خـواص النويـدات المشعة وعـلى طريقـة دخولهـا الى البيئة وفيـما اذا كانت النويدات المشعة تتوزع بصورة منتظمة وهذا مهم جدا وفيما اذا كان تركيـز الفعالية ثابتا بمرور الزمن. ان تحقق هذين الشرطين يؤدي الى بساطة النموذج البيئي المستعمل لتقدير الجرع الاشاعية للسكان.

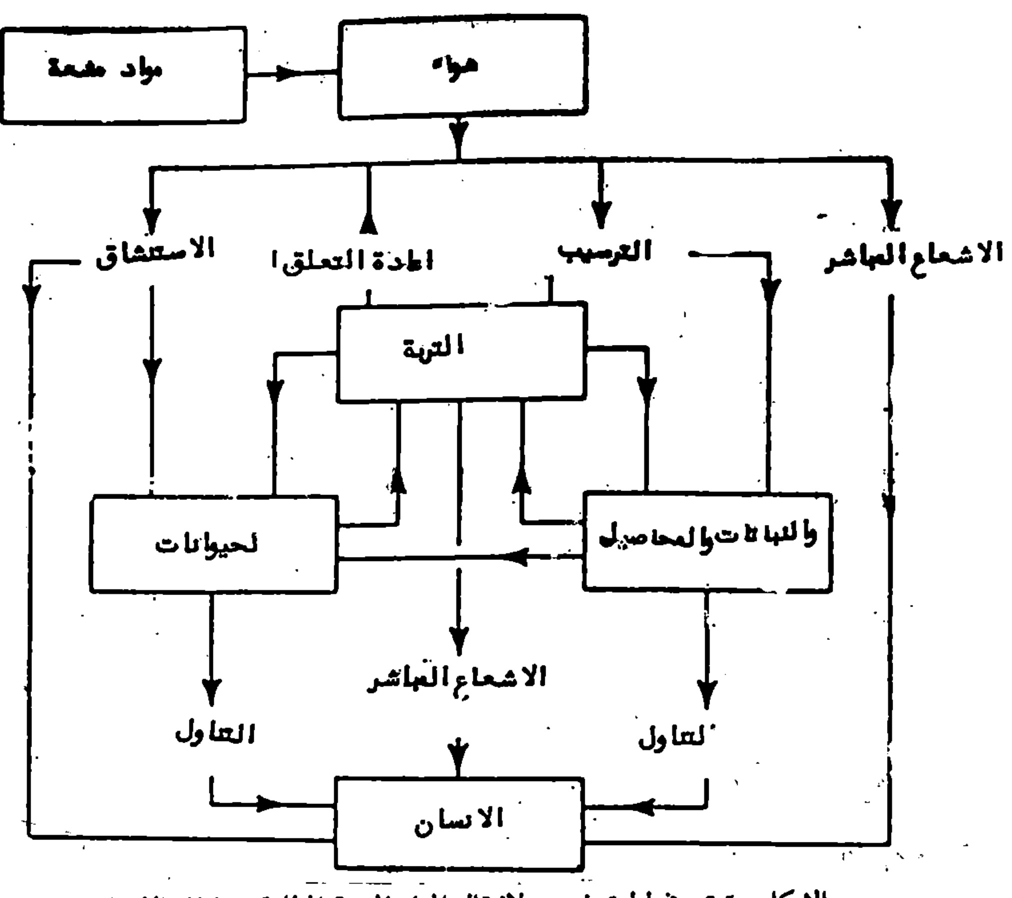
ويكون تقدير الجرع المخصصة الناتجة عن المتساقطات نتيجة التفجيرات النووية في الجو بواسطة معاملات الانتقال غير المعتمدة على الزمن.

ان الطريقة تشمل العلاقة بين تركيز الفعالية في حيز واحد من البيئة والتركيز المماثل في الحيز الذي يليه. ان هذه المعاملات قد عرفت بانها اجزاء من تكامل الزمن المستمر للفعالية في الحيز n في سلسلة الى زمن التكامل المستمر لفعالية مناسبة في الحيز الذي يليه (m) كما في المعادلة

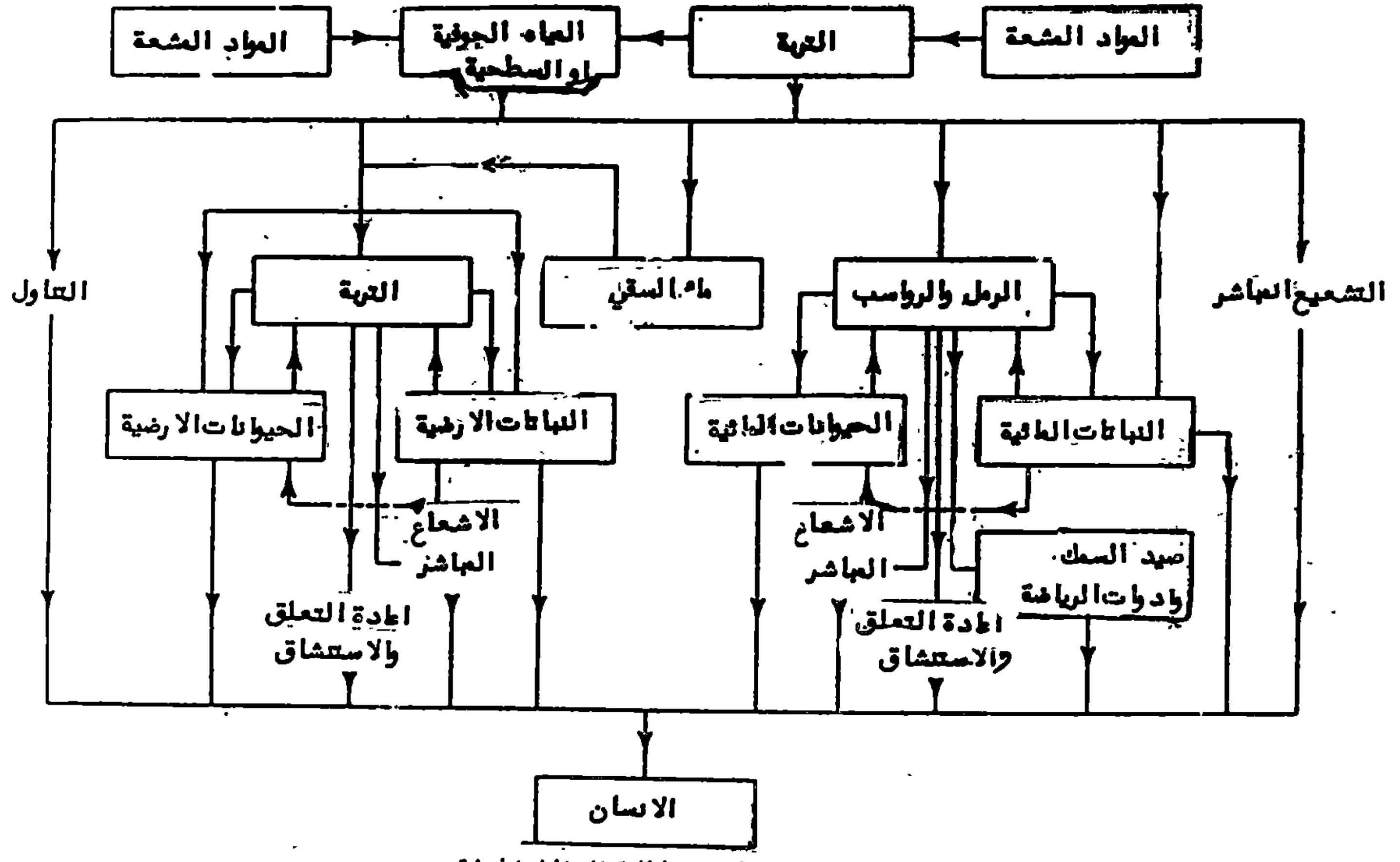
$$P_{mn} = \int_{\infty}^{\infty} A_n(t)\, dt \Big/ \int_{\infty}^{\infty} A_m(t)\, dt \quad .....(5.38)$$

حيث يمثـل Pmn معامـل الانتقال من الحيـز m الى الحيـز n و Am(t) و An(t) يمثلان الفعالية المخصصة للحيزان في الزمن t .

ان هذه الانواع من النماذج تكون امثلة للنمـاذج التي تحدث خـلالها سلسلة من الاحـداث المتمثلة بمتواليـة من الحيزات او الحجووان فعاليـات الانتقال تجري في هذه الحيزات ولذلك تدعى نماذج الحيزات (Compartment models) .(الشكلان 3.5 و 4.5).ويلاحظ ان الخليط من النويدات المشعة الصناعية التي تطرح الى الجو والماء من المنشآت النووية تسبب جرعا ممتصة للافـراد. وان الجرع الممتصـة القصوى تشمـل مجموع الجـرع المضافة للنويدات من خلال جميع طرائق الانتقال كما انه يمكن حساب معدل الجرع الممتصة المتجمعة في المجاميع السكانية المختلفة وتكامل معـدل تلك الجرع المتجمعة فيما يخص الفضاء والزمن وكل هذه المتطلبات قد ادت بالنتيجة الى نشوء برامج مفصلة ومعقدة، لغرض التكهن في المستقبل البعيد.



الشكل 3.5 مخطط توضيحي لانتقال المواد المشعة المطلقة جوا الى الانسان



الشكل 45 مخطط توضحي لانتقال المواد المشعة (المطلقة الى المياه الجوفية او السطحية) الى الانسان

ان جميع النماذج من ناحية المبدأ تستند الى نتائج لتجارب ويجب ان تخضع للاثبات التجريبي في الاقل لقيم المعاملات الداخلة ان لم يكن لهيئة البرامج .
اما القناعة الان فهي ان النماذج المعقدة تكون الحاوية على تفاصيل وصفيةوهي الاكثر قبولا وقربا للحقيقة ولهذا فهي اسهل للدفاع عنها من النماذج الابسط ولكن المشكلة فيها صعوبة الحصول على بعض معاملات العوامل الداخلة فيها.

ان الصعوبة الكامنة في مراجعة النماذج المختلفة تكمن في وجود عدد كبير من برامج الحاسبة الالكترونية حيث يوجد هنالك ما يتجاوز مائة برنامج حاسبة يعنى بتقدير الجرع الاشعاعية الناتجة عن طرح المواد المشعة خلال الاعمال الاعتيادية والحوادث الى البيئة من المنشآت النووية.

الابهام الناتج عن التكهن من النماذج

يفترض ان جميع النماذج (Uncertainty of Prediction from models)

تستند الى المعرفة الخاصة بالنظام الواقعي (Real system) الذي تتم محاكاته وعند الامكان استعمال معلومات تحسب بالتجارب والاعتماد على التكهن يستند الى معرفة النظام وعلى موثوقية المعلومات المستخدمة وكلتا الحالتين متوفرة بصورة مرضية بما فيه الكفاية فيما يخص النماذج المتعلقة بالنويدات المشعة لان هذه النماذج قد استنبطت بصورة افضل لانتقال النويدات المشعة من المواد الملوثة المحتملة الاخرى.
ومن الممكن حساب درجة الابهام الملازمة لعملية التكهن وفي الحالات البسيطة فانه قد يمكن التأكد من تكهن النموذج ولكنه في حالات كثيرة يكون

ذلك ممكنا لبعض الاجزاء من نتائج النموذج او لبعض النويدات المشعة تحت الدراسة. هنالك نوعان من الطرائق التقنية المتوفرة لدراسة واقعية النتائج وهي تشمل تغيير شكل النموذج المستعمل وتقييم الاختلافات في النتائج التي يتم التكهن بها، او تغيير المعلومات الداخلة خلال مجال وتقييم التغييرات الحاصلة في التكهن.

لقد تمت دراسة بعض خواص عدد من النماذج مثل نموذج الانتشار الجوي مع التراكيز الملاحظة في المستوى الارضي بعد ان يتم الاطلاق من اماكن مرتفعة ولقد استنتج بان اكثر خطأ محتمل في حسابات المعدل النهائي سوف يأتي من اختيار مخطوء لسرعة الريح ولظروف الاستقرار (Stability con- ditions).

تستند النماذج المستعملة لتقدير التلوث من التفجيرات النووية بصورة قوية الى المعلومات الملاحظة والتي اشتقت بصورة رئيسة من تقريبات متتالية لقياسات حصل عليها خلال عشرات السنين ولهذا يتوقع ان نحصل على تكهنات جيدة باستعمال هذه البرامج حول نتائج التلوث.

ولكن نماذج الانتقال الغذائية تكون اصعب للاثبات وهي تكون متغيرة اكثر فيما يخص الزمن والفضاء وتكون لها روابط اوسع مع القياسات المباشرة.
لقد تم نشر بعض الدراسات عن العلاقة بين بعض اجزاء النماذج مع القيم الملاحظة وعلى سبيل المثال مقارنة التكهن بنموذج الانتقال في التربة مع قياسات لتراكيز فعالية البلوتونيوم على مسافات مختلفة من نقطة الاطلاق وقد كانت النتائج المستحصلة تبلغ ضعف الكمية المقدرة.

ان النماذج المستعملة للانتشار المائي تكون مبسطة اكثر حتى في الانظمة المحددة مثل الانهار. ان الاتجاه العام للفعاليات الفيزياوية في الانظمة المائية هو معدل التركيز المخلوط جيدا، ويوجد نفس الاتجاه في النماذج. ان الابهام الرئيس يكمن في الفعاليات التي تعكر هذه الحالة مثل الامتصاص على الرواسب والتركيز الحيوي (Bioconcentration) ولا يتوقع ان يزيد الخطأ في التكهن باستعمال هذه النماذج خلال فترة زمنية متوسطة عن مرتبة واحدة.

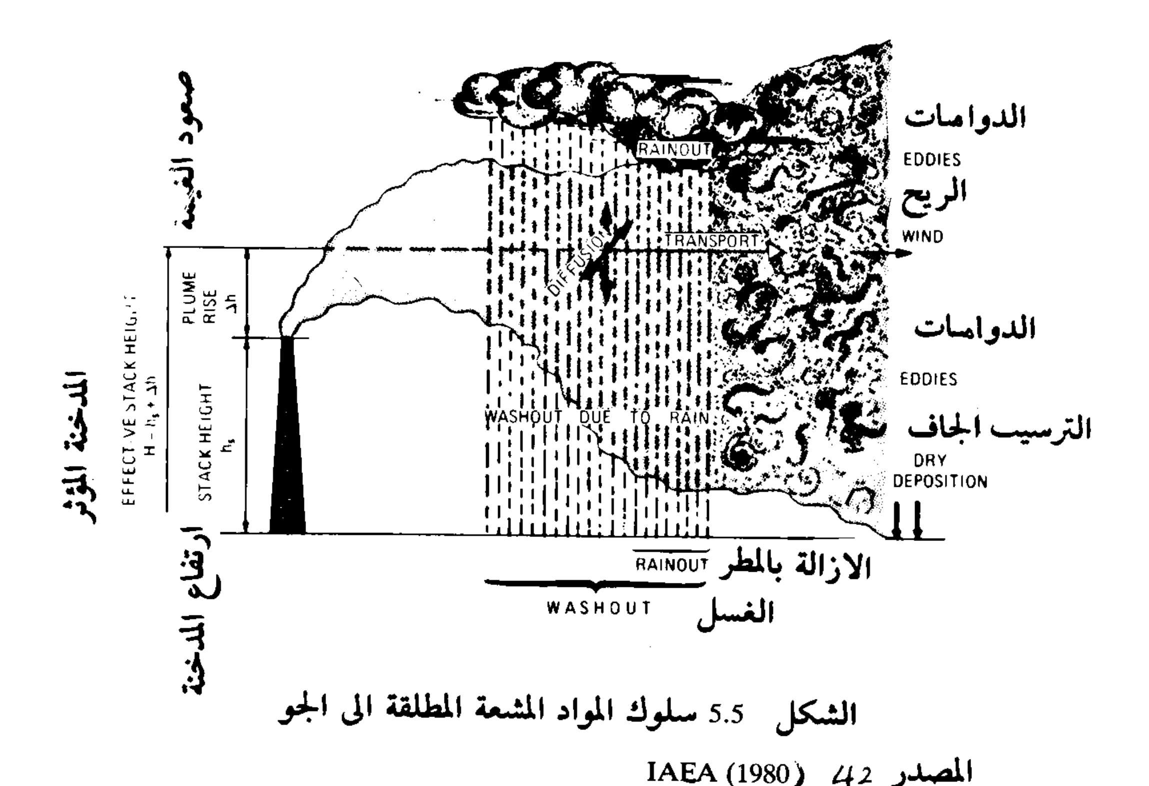
والخلاصة هي انه يجب استعمال طريقة مناسبة لتقدير الابهام الكلي اللازم للنتائج المتكهن بها من جميع النماذج وان درجة الابهام يجب ان تذكر مع النتائج .

2.2.5 نماذج الانتقال الجوية

(Atmospheric transport models)

تتحكم في انتقال المواد المشعة المطلقة الى الجو الفعاليات الخاصة بالخلط الجوي الاعتيادية واذا كانت المواد المشعة بهيئة جسيمات كبيرة فانها تسقط بسرعة تحت تأثير الجاذبية الارضية وان معظمها يستقر قريبا من نقطة التكوين. اما الجسيمات الصغيرة فانها سوف تتحرك مع كتل الهواء كما يحدث للغازات. تترسب المواد المشعة غير الغازية بالترسيب الرطب والترسيب الجاف وينتج عنه ترسب النويدات المشعة على الارض وعلى النباتات وان هذه النويدات المشعة تسبب تعرضاً خارجياً او قد تدخل الاغذية ومصادر مياه الشرب مما يسبب تعرضاً داخلياً او تصبح عالقة لتسبب خطورة محمولة في الهواء مرة اخرى ويوضح الشكل 5.5 المواد المشعة المطلقة جواً من منشأة نووية (قد تكون مفاعلا او معملا لاستخلاص الوقود) .

لقد وجد انه من الناحية العملية يمكن استعمال كميات من السهل ملاحظتها ووصفها مثل غطاء الغيوم (Insolation) وسرعة الريح . أن أكثر الأنظمة استعمالا يستند الى ذلك الذي اقترح من قبل العالم Pasquill الذي يتم فيه وصف ست مجاميع من المناخ (Aالى F)



الشكل 5.5 سلوك المواد المشعة المطلقة الى الجو

المصدر 42 (IAEA (1980

اضيفت مجموعة سابعة لاحقاً ورمزها G والتي تصف الاستقرارية الجوية كما هو موضح في الجدول 1.5 حيث تمثل المجموعة (catagory A) اكثر الحالات عدم استقرارية بينما تكون المجموعتان Bو C اكثر استقرارية والمجموعة D تكون محايدة وتمثل EوF المجاميع المستقرة وقد اضيفت المجموعة G مؤخراً وهي تكوّن مجموعة مستقرة جداً.

أن سقوط المطر يمكن ان يحدث في المجاميع Cو I

وهناك طرائق لحساب اقسام الجو او تعريف اقسام الاستقرارية (من اكثر النماذج المفيدة والمستعملة من النماذج الاحصائية هو معادلة الغيوم الكلاوسية (الطبيعية) (Gaussian plume equation) التي اقترحت أول مرة من قبل العالم Sutton وهذه المعادلة تستند الى الحل التحليلي لمعادلة الانتشار تحت فرضيات سرعة ريح ثابتة وعدم وجود قوة تمزق هوائي (Wind Shear) وشكل ارضي مستو وانتشار فيكي (Fickian diffusion)

والمعادلة في اكثر اشكالها عمومية هي الاتي

$$\chi_a(x,y,z) = \frac{A_o}{2\pi\sigma_y\sigma_z\bar{v}} \exp\left(\frac{-y^2}{2\sigma_y^2}\right)\left[\exp\frac{-(z-h)^2}{2\sigma_y^2} + \exp\frac{-(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad \text{-------}(5-39)$$

الجدول 1.5

تقسيم الطقس حسب طريقة Pasquill باستعمال سرعة الريح والعزل

سرعة الريح السطحية (Surface wind speed)	العزل (Insolation)			الليل (Night)	
متر/ ثانية ($m.s^{-1}$)	قوي strong	متوسط moderate	خفيف slight	½غيوم (cloud)	غيوم 3/8
اقل من 2	A	B – A	B	–	–
3 – 2	B – A	B	C	E	F
2 – 3	B	C – B	C	D	E
6 – 5	C	D – C	D	D	D
اكثر من 6	C	D	D	D	D

ملاحظة ـ ان اقسام الطقس مرتبة بصورة متزايدة للاستقرارية حيث تكون A اكثر عدم استقرارية و G اكثر الاقسام استقرارية وان D تستعمل لاي ظروف في السماء تسبق او تلي الليل وكذلك في ظروف الغيوم في الليل او النهار بغض النظر عن سرعة الريح.

ان الليل يبدأ قبل غروب الشمس ويستمر الى ساعة بعد الفجر.

المصدر IAEA (1982) 45

لتركيز الفعالية الموازية الى سرعة طرح معين. ان التركيز التكاملي من الفعالية المطروحة يعطي في المعادلة

$$\bar{X}_a(x,y,z) = \frac{A_o}{2\pi\,\sigma_y\sigma_z\bar{v}} \exp -\frac{1}{2} \left[\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-h)^2}{\sigma_z^2}\right] \text{------}(5-40)$$

و يمثل $\bar{v}$ متوسط سرعة الريح على ارتفاع 10متر من سطح الارض ويمثل h ارتفاع الطرح المؤثر بينما تمثل Xa(x,yz) و $\bar{X}$a (x,y,z) تركيز الفعالية والتركيز التكاملي الزمني لوحدة حجم الهواء في نقطة (x,y,z) σ_y σ_z هما الانحراف القياسي للغيمة افقياً وعمودياً وتمثل Ao فعالية المصدر بينما تمثل U ارتفاع الطرح المؤثر الذي يأخذ بنظر الاعتبار تأثير المداخن الطويلة بينما تكون X قيمة المسافة باتجاه الريح وتمثل Z الارتفاع فوق سطح الارض لنقطة اخذ النماذج . ان نقطة الاصل هي مستوى الارض تحت نقطة الاطلاق وباشتقاق المعادلتين اعلاه فان الانتشار باتجاه X يمكن تجاهله مقارنة بالنقل بواسطة الريح لما هو مطروح ويستمر لفترة محددة .

ان الانحرافات القياسية σ_y و σ_z غير معروفة بواسطة الافتراضات الرياضية ولكن يجري حسابها من اقسام المناخ الاستقرارية بدلالة المسافة باتجاه الريح وهنالك عدة طرائق لايجاد هذه القيم .

توجد عدة فعاليات ربما تعمل لازالة النويدات المشعة المحمولة جواً وخاصة الانحلال الاشعاعي والترسيب الرطب والترسيب الجاف وكذلك فعاليات اخرى تشمل الارتطام بالسطوح السفلى او المعترضات مثل النباتات الموجودة والامتصاص من الهواء بواسطة النباتات والتفاعلات الكيمياوية مع السطوح .

ان نماذج الانتشار الجوية التي وضعت هنا تطبق على سلوك الغيمة المشعة مباشرة بعد الاطلاق وعند مسارها باتجاه الريح . ان المعاملات والنماذج الداخلة تكون معتمدة اكثر لمسافات لحد عشرات من الكيلو مترات بالرغم من انها تستعمل بصورة شائعة لحد 100كيلو متر.

2.2.5 حساب الجرع الاشعاعية الناتجة عن اطلاق المواد المشعة الى الجو

عند اعطاء تركيز النويدات المشعة في الهواء كما هو مخمن باستعمال النماذج المختلفة فإنها تسبب تعرضاً للبشر بطرائق مختلفة موضحة في الشكل 6.5 ومنها التشعيع المباشر من الغيمة الحاوية على المواد المشعة والاستنشاق المباشر من الغيمة واستنشاق المواد المعادة التعلق في الجو والتناول عن طريق سلسلة الغذاء الارضية والتعرض الى النويدات المشعة المترسبة على سطح الارض.

جرع الانغماس في الهواء (Air immersion doses)

ان الجرعة الاشعاعية المستعملة لغرض تقدير الجرع الخارجية الناتجة من الانغماس في الهواء الذي يكون محتويا على النويدات المشعة المطلقة لاشعة كاما هي

$$D_{imm} = (1.0\times10^{-6}) \times 8760 \times C_{imm} \quad \ldots\ldots (5.41)$$

حيث تكون Dimm هي جرعة الانغماس في الهواء (ريم/سنة)

X هو التركيز بمستوى الارض للنويدة المشعة في الهواء (pCi/cm^3)

Cimm هو معامل تحويل الجرعة للانغماس في غيمة غير منتهية ($rems\text{-}cm^3/\mu Ci\ hr$)

1.0×10^{-6} هي مايكروكيوري في البيكوكيوري ($\mu Ci/pCi$)

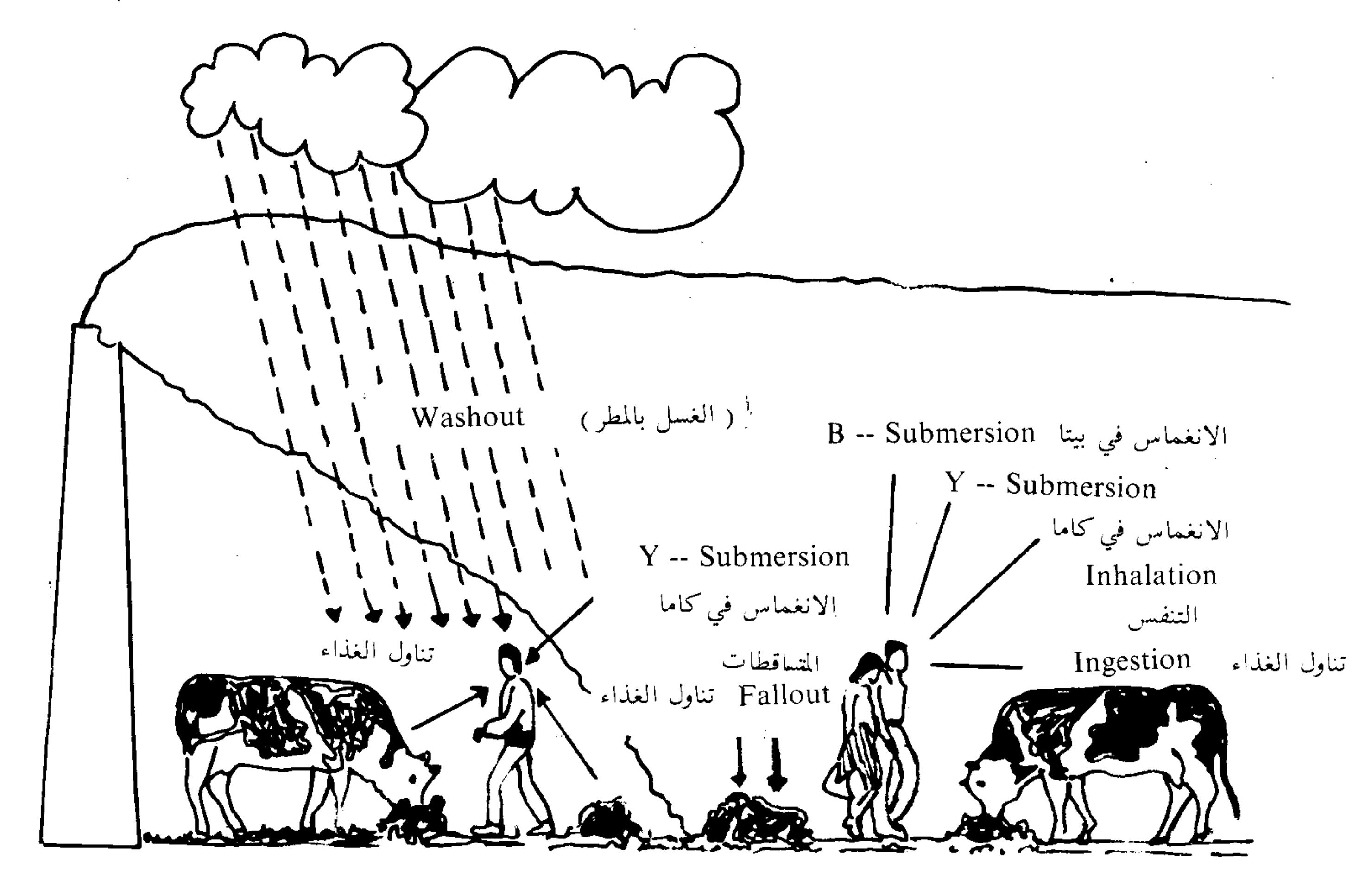
8760 هي ساعة في السنة.

جرع الانغماس في بيتا من الغيمة

(Beta submersion dose from the plume)

تكون لدقائق بيتا قابلية نفاذ قليلة في الهواء تبلغ بضعة امتار وان المعادلة لحساب الجرع الاشعاعية الناتجة عن التعرض لها داخل الغيمة هي

$$D_{BP} = \dot{\rho} \left(\frac{\bar{X}}{\rho}\right)_P \, S_B \quad \ldots\ldots (5.42)$$



الشكل 6.5 تعرض السكان الناتج عن اطلاق المواد المشعة الى الجو

حيث تمثل D_{BP} جرع الاحتواء الممتصة السنوية بوحدات الغراي (لطبقة الجلد التي عمقها 0.07 ملمتر) باتجاه الـريح p و $\dot{\rho}$ هـو معدل الاطلاق بالبكريل في السنة و g_B جو معامل الجرعة للانغماس في بيتا بوحدات $[Gy(Bq.s.m^{-3})^{-1}]$

وهنالك جداول خاصة للحصول على معاملات الجرع.

جرع الاستنشاق (Inhalation doses)

تستعمل المعادلة التالية لتخمين جرع الاستنشاق في كل موقع بيئي

$$Dinh = (1.0x10^{-6})(8760xB\ Cinh \quad .... (5.43)$$

حيث تكون Dinh هي جرعة الاستنشاق بوحدات rem/y

X هو التركيز بمستوى الارض للنويدات المشعة في الهواء.

PCi/cm^3

Br = معدل الاستنشاق (سم³ / ساعة)

Cinh = هو ثابت تحويل الجرعة للاستنشاق (rem/uCi)

وقيم Cinh هي جرع مخصصة ناتجة من التناول الاولى لبكريل واحد من النويدة المشعة. ان هذه المعاملات لتحويل الجرعة يجب ان تتضمن مساهمة البنات المشعة المناسبة بعد اخذ النويدة الاصل.

جرع تناول الاغذية (Ingestion doses)

ان الجرع الى الاعضاء المختلفة الناتجة من تناول النويدات المشعة ما عدا التريتيوم والكاربون - 14 يتم حسابها من تراكيز النويدات المشعة في الغذاء ومعدلات التناول السنوية للافراد او للسكان. كما ان تركيز النويدات المشعة في اللحوم والحليب والخضروات يجري حسابها من خلال نماذج متعددة.

التراكيز في وعلى النباتات (Concentration in and on Vegetation)

تتركز المواد المشعة في النباتات نتيجة الترسيب على الاعشاب النباتية ومن امتصاص الفعالية المترسبة اولا على الارض وتستعمل المعادلة التالية لغرض تخمين التركيز $\check{C}i\ (r,\theta)$ بوحدات PCi لكل كيلو غرام للنويدة i وكذلك على النباتات في الموقع : (r,θ)

$$C_i^{V}(r,\theta) = d_i(r,\theta)\left\{\frac{R[1-\exp(-\lambda_{Ei}t_e)]}{Y_v\lambda_{Ei}} + \frac{B_{iv}[1-\exp(-\lambda_i t_b)]}{P\lambda_i}\right\}\exp(-\lambda_i t_h), \quad \text{-----}(5.44)$$

$(d_i(r,\theta)$ هو معدل الترسيب للنويدة المشعة i على الارض في الموقع (r,θ) بوحدات $pCi/m^2\text{-}hr$

و $(di\ (r,\theta) = 3.6x10^7Rt)$

— هو الجزء من الفعالية المترسبة الباقية على الاجزاء الصالحة للاكل (بدون وحدات)

λi هو ثابت الانحلال الاشعاعي للنويدة i بوحدات 1/ساعة

Ei ثابت معدل الازالة المؤثر للنويدة المشعة i من المحاصيل في 1/ساعة حيث ان

$\lambda Ei = \lambda i + \lambda w$

وان λw = ثابت معدل الازالة للفقد الفيزياوي الناتج بفعل المناخ

te = الفترة الزمنية التي تتعرض فيها المحاصيل الى التلوث خلال فصل النمو بالساعات.

Yv = الانتاجية الزراعية (المنتوج) للاجزاء الصالحة للاكل من النباتات بالكيلو غرام للمتر المربع.

Biv = معامل التركيز لاخذ النويدة المشعة i من التربة بواسطة الاجزاء الصالحة للاكل في النباتات بوحدات pCi/kg لكل PCi/Kg تربة جافة.

tb = الفترة للتراكم الطويل الامد في التربة بالساعات.

P = الكثافة المؤثرة للخمسة عشر سنتمتراً العليا من التربة بالكيلو غرامات (من التربة الجافة)/ متر مربع.

th = زمن الاحتفاظ الذي يمثل الفترات الزمنية بين الجني واستهلاك النباتات بالساعات.

التركيز في الحليب (Concentration in Milk)

يعتمد تركيز النويدة المشعة i في الحليب على كمية ومستوى التلوث للعلف المستهلك من قبل الحيوانات كما ان تركيز النويدة المشعة i في اعلاف الحيوانات يحسب باستعمال المعادلة التالية

$$\check{C}i\ (r,\theta) = fpfs\ C_i^{p}(r,\theta) + (1 - fpfs)\ C_i^{s}(r,\theta) \quad ......\ (5.45)$$

حيث ان

$\check{C}i(r,\theta)$ = تركيز النويدة المشعة i في علف الحيوانات بوحدات pCi لكل كيلو غرام.

$C_i^{p}(r,\theta)$ = تركيز النويدة المشعة i على حشائش الحقل والمحسوب بالمعادلة السابقة على اعتبار ان th يساوي صفراً بوحدات pCi لكل كيلوغرام.

$C_i^{s}(r,\theta)$ = تركيز النويدة المشعة i في العلف المخزون (المحسوب باستعمال المعادلة 5,45 مع الاخذ بنظر الاعتبار ان th= 2160 ساعة. بوحدات pCi لكل كيلوغرام.

fp= الجزء من السنة التي ترعى فيها الحيوانات في المرعى.

fs= الجزء من العلف اليومي الذي يكون حشائش المرعى عندما يتغذى الحيوان في الحقل.

وباستعمال قيمة $C_i^{v}(r,\theta)$ المحسوبة بهذه المعادلة فان تركيز النويدة المشعة i في الحليب يقدر بالمعادلة

$$C_i^{m}(r,\theta) = F_m C_i^{v}(r,\theta)\, Q_F \exp(-\lambda_i t_f) \quad \dots (5.46)$$

حيث ان

$C_i^{m}(r,\theta)$= تركيز النويدة: في الحليب بوحدات pCi لكل لتر

$C_i^{v}(r,\theta)$= تركيز النويدة المشعة i في علف الحيوان بوحدات pCi لكل كيلوغرام.

F_m= متوسط الجزء من النويدة المشعة i المتناولة يوميا التي تظهر في كل لتر من الحليب بوحدات يوم/لتر

Q_F= مقدار العلف المستهلك من قبل الحيوان في اليوم بوحدات الكيلو غرام/ يوم.

t_f= هو متوسط وقت النقل للفعالية من العلف الى الحليب ثم الى المتسلم.

λ_i = هو ثابت الانحلال الاشعاعي للنويدة i /يوم.

التركيز في اللحوم (Concentration in meat)

ان تركيز النويدة المشعة في اللحوم يعتمد على كمية ومستوى التلوث للعلف المستهلك بواسطة الحيوانات باستعمال قيمة $C_i^{v}(r,\theta)$ كما جرى حسابها في المعادلة (5.45) فان تركيز النويدة المشعة في اللحوم يقدر بالمعادلة التالية

$$C_i^{F}(r,\theta) \cong F_f C_i^{v}(r,\theta) Q_f \exp(-\lambda_i t_s) \quad \dots . (5.47)$$

حيث ان

$C_i^{F}(r,\theta)$= تركيز النويدة i في لحم الحيوانات بوحدات pCi لكل كيلو غرام.

F_f= الجزء من التناول اليومي للحيوان من النويدة i الذي يظهر في كل كيلوغرام من اللحوم بوحدات الايام/كغم.

$C_i^v(r,\theta)$= تركيز النويدة المشعة i في علف الحيوانات بوحدات pCi لكل كيلو غرام.

Q_f= كمية العلف المتناول من قبل الحيوان في اليوم.

λ_i = ثابت الانحلال الاشعاعي للنويدة i في اليوم.

t_s= متوسط الوقت (يوم) من الذبح لغاية الاستهلاك.

حساب الجرع السنوية لاعضاء الجسم

(Calculation of annual organ doses)

تستعمل المعادلة التالية لحساب الجرع السنوية المخصصة الى العضو j للفرد الناتجة من التناول الغذائي لجميع النويدات المشعة المطلقة الى الجو ما عدا الكاربون - 14 والتريتيوم في منتجات الحليب واللحوم والخضروات الورقية.

$$D_j^P(r,\theta) = \sum_i DFI_{ij}[U^v f_g C_i^v(r,\theta) + U^M C_i^M(r,\theta) + U^F C_i^F(r,\theta) + U^L f_l C_i^L(r,\theta)] \quad ...(5.48)$$

حيث ان $D_j^P(r,\theta)$= الجرع السنوية المخصصة الى العضو j للفرد من التناول الغذائي للنويدات المشعة المطلقة الى الجو

DFI_{ij}= معامل تحويل الجرع لتناول النويدة i للعضو j بوحدات mrem / pCi

U^L, U^F, U^M, U^v= معدلات التناول للمنتوجات (الخضروات غير الورقية والفواكه والحبوب)الحليب واللحوم والخضروات الورقية على التوالي للافراد.

f_g= الجزء من المنتوج المتناول المنمى في منطقة تهمنا.

f_l= الجزء من الخضروات الورقية المنمى في منطقة تهمنا

ان المصطلحات الواردة في المعادلة والتي هي $C_i^v(r,\theta)$ و $C_i^M(r,\theta)$ و $C_i^F(r,\theta)$ و $C_i^L(r,\theta)$ تمثل الجرع الى العضو j الناتجة عن تناول المنتوج الحليب واللحوم والخضروات الورقية على التوالي حيث سبق ان تم حسابها لغرض استعمالها في معادلة حساب الجرع المخصصة. كما ان القيم المستعملة للمعاملات te و Yv و th هي تلك المناسبة للمنتجات المستهلكة من قبل البشر.

ان معاملات تحويل الجـرع يجب ان تتضمن مساهمـة الاهل كـذلك والبنات المتراكمة بعد التناول.

حساب الجرع للتريتيوم

قد يطلق التريتيوم (T) الى الجو على شكل HT او T_2. ان ذرات التريتيوم ربما تتبادل مع ذرات الهايدروجين في جزئيات الماء في الهواء وبهذا فاننا نتعامل مع الغيمة كانها حاوية HTO في البداية. ومن الممكن افتراض ان التريتيوم يتبع الماء بصورة دقيقة في البيئة. وعلى هـذا الاساس فـان الجرع الاشـعاعيـة الناتجة من تناول الاغذية او شربْ المياه في منطقة ما تتناسب مع تركيز التريتيوم في الهواء.

ان مجموع جرع التريتيوم الناتجة عن التناول فيما لو اعتبر ان مصدر الماء في غذاء وشرب فرد ما ينشأ في نفس المنطقة التي يسكن فيها معبر عنه بالمعادلة

$$Dt = C_f X + C_w X \quad .... (5.49)$$

حيث ان Dt= مجموع جرع التناول (ريم في السنة)

Cf= معامل تحويل الجرع للغذاء (ريم - سم^3/pCi سنة)

Cw= معامل تحويل الجرع لماء الشرب (ريم - سم^3/pCi - سنة)

X= مستوى التركيز الارضي للتريتيوم في الهواء في موقع معين pCi/سم^3.

ان معامل تحويل الجرع لعموم الجسم الناتج من التناول هو $8.3x10^{-5}$ ريم لكل pCi ان هذا العدد يستعمل لاشتقاق القيمة Cf استنادا الى الفعالية الخاصة (Specific activity) للتريتيوم في الرطوبة الجوية مع متوسط رطوبة خاصة مقدارها 8 غرامات من الماء لكل متر مكعب من الهواء.

واذا كان التريتيوم في الغذاء متوازنا مع التريتيوم الجوي وان الانسان يستهلك 1638 غرام من الماء في غذائه فان قيمة Cf تسـاوي 6.18 ريم - سم^3/pCi - سنة كما ان قيمة Cw للتناول اليومي للماء الذي يكون مقداره 1512 غرام تبلغ 5.70 ريم - سم^3 pCi - سنـة. ان هذه القيمـة

تستعمل متى ما كانت جميع مياه شرب الفرد مستهلكة في منطقته وفي جميع الحالات الاخرى فان Cw يجب ان تخفظ لغرض اخذ التخفيف الذي يحصل نتيجة البعد عن المصدر.

الجرع الناتجة عن الكاربون - 14

اذا اطلق الكاربون - 14 على شكل CO_2 فانه سوف يختلط مع غاز ثاني اوكسيد الكاربون الجوي ويكون بذلك متوفرا لعملية التركيب الضوئي للنبات. ان الحيوانات التي ترعى الحشائش سوف تتناول الكاربون - 14 مع الحشائش ومن ثم فانه سوف يصل الى الانسان في الحليب واللحوم.

هنالك عدد من معاملات الجرع التي تعتمد على حسابات الفعالية الخاصة للكاربون - 14 في انسجة الجسم التي هي في حالة توازن مع الكاربون - 14 الجوي. وتأتي جميع الجرع الاشعاعية الناتجة من الكاربون-14 من تناول الحليب واللحوم والخضروات ويجري تقدير وزن الكاربون الكلي المتناول في اليوم بواسطة العلاقات

$$Wv = 79.96\,V$$

$$Wb = 238.16\,Tb$$

$$Wc = 68.9\,Tc$$

$$Wt = Wv \pm Wb \pm Wc \quad \ldots\ldots (5.50)$$

حيث ان Wv و Wb و Wc و Wt تساوي اوزان الكاربون المتناول يوميا عن طريق الخضروات واللحوم والحليب والمتناول الكلي على التوالي.

V= استهلاك الخضروات اليومي كيلوغرام

Tb= استهلاك اللحوم اليومي كيلو غرام

Tc= استهلاك الحليب اليومي لتر.

ان التعديل (Normalization) يحصل عليه بواسطة استعمال الاجزاء الموزونة (Weight frations) للكاربون

لكل نوع من الغذاء في معادلات الجرع .

$$Dv = CFv(Fv1X + Fv2Xv) \quad ....(5.51)$$

$$Db = CFb(Fb1X + Fb2Xb) \quad .... (5.52)$$

$$Dc = Cfc(Fc1X + Fc2Xc) \quad ..... (5.53)$$

حيث ان Dc,Db,Dv تساوي جرع التناول (الهضم) للكاربون – 14 في الخضروات واللحوم والحليب (ريم/سنة)

C= معامل تحويل الجرع للكاربون – 14 (ريم – سم³/pCi – سنة)

Fv= الجزء الموزون للكاربون – 14 من الخضروات (Wv/Wt)

Fb= الجزء الموزون للكاربون – 14 من اللحوم (Wb/Wt)

Fc= الجزء الموزون للكاربون – 14 في الحليب (Wc/Wt)

Fv1= الجزء من الخضروات المتناولة المنتجة في منطقة الشخص المتناول

Fv2= الجزء من الخضروات المتناولة التي يمثل مصدرها المتوسط المنتج في المنطقة المخمنة .

Fb1= كما في اعلاه Fv1 ما عدا المنطبق على اللحوم

Fb2= كما في اعلاه لـ Fv2 ما عدا المنطبق على اللحوم

Fc1= كما في اعلاه لـ Fv1 ما عدا المنطبق على الحليب

Fc2= كما في اعلاه لـ Fv2 ما عدا المنطبق على الحليب

X= مستوى التركيز الارضي للكاربون – 14 في الهواء في المواقع المفردة المختلفة pCi لكل سم³

Xv = متوسط التركيز في المستوى الارضي للكاربون – 14 في الهواء فوق المنطقة المخمنة موزون بواسطة الكميات من الخضروات المنتجة بدلالة الموقع .

Xb= كما في اعلاه لـ Xv ما عدا المطبق على اللحوم

Xc= كما في اعلاه لـ Xv ما عدا المطبق على اللحوم

ان مجموع الجرع الناتجة من الكاربون – 14 هو مجموع كل من Dc,Db,Dv

جرع كاما الناتجة من الارض الملوثة

(Gamma dose over contaminated ground)

ان المعادلة اللازمة لحساب جرع كاما الناتجة من التعرض الى اشعة كاما المنبعثة من الارض الملوثة هي

$$Dbp = \dot{\varphi}(\bar{F}p + \bar{W}p)\, Kb\, g b \quad ....(5.54)$$

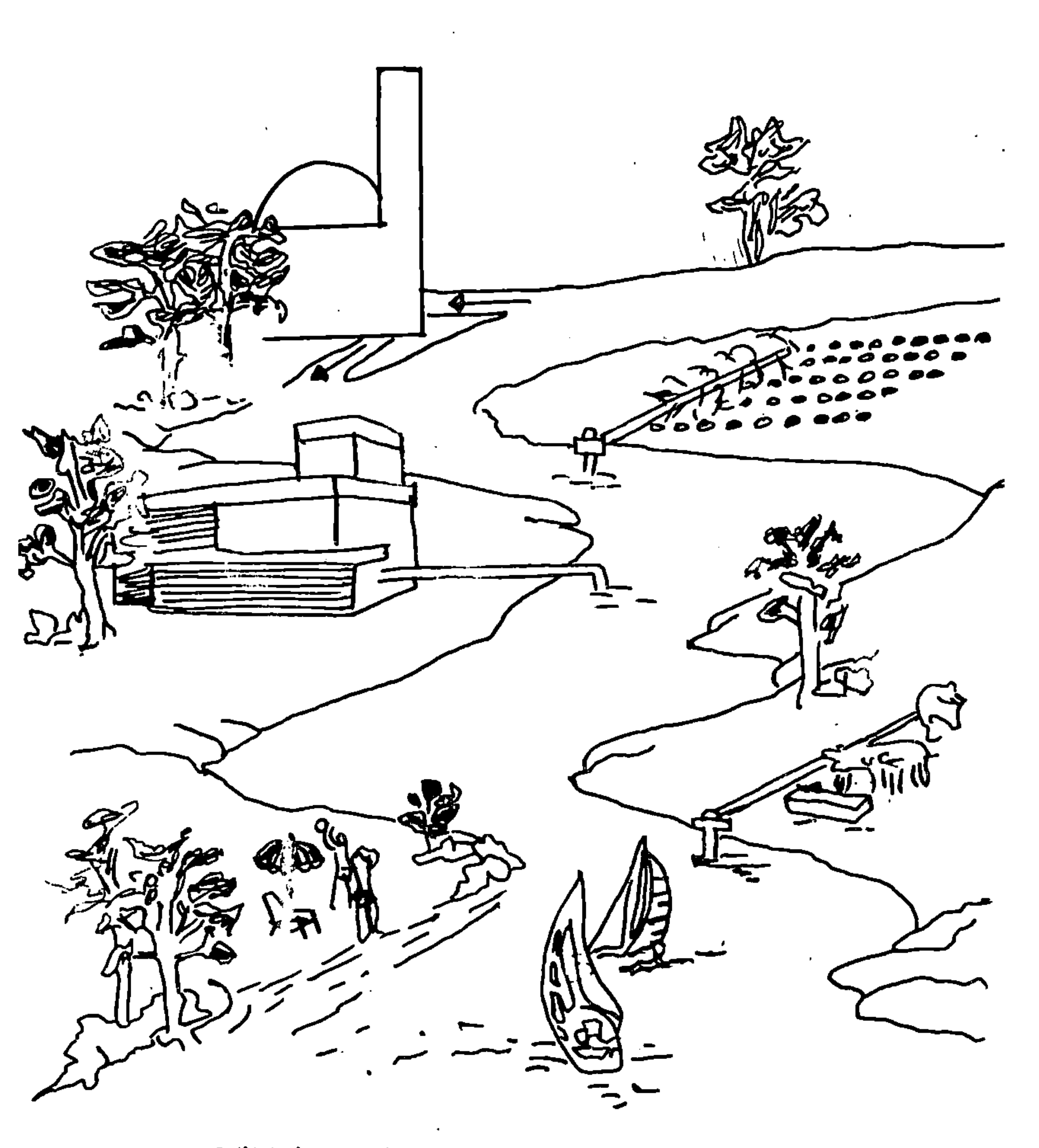
حيث ان $\dot{\varphi}$ هي معدل الاطلاق بالبكريل في السنة و Dbp هي الجرع الممتصة السنوية من الارض الملوثة الناتجة من النويدة المشعة i بالغراي بالقطاع p و $\bar{W}p$ هو معامل الغسل بوحدات 1 / متر مربع للقطاع p .

$$Kp = [1 - \exp(-\lambda tB\phi]/\lambda \quad ....(5.55)$$

ويحصل عليه بجداول خاصة و λ هو ثابت الانحلال الفيزياوي و tBø الزمن الذي تستغرقه النويدة المشعة i للترسب على الارض و$tB=$ 50 سنة و gb معامل تحويل الجرعة للاشعاع الارضي بوحدات $Gy(Bq\, s.m^{-2})^{-1}$ ويحصل عليه من جداول خاصة .

3.2.5 حساب الجرع الاشعاعية الناتجة عن اطلاق المواد المشعة الى البيئة المائية .

ان النويدات المشعة تنتقل في البيئة المائية عن طريق الحركة الافقية والتنافذ والانتشار. ان التعامل مع المواد العالقة والرواسب هو من الفعاليات الفيزيوكيمياوية المهمة وتحت بعض الظروف فان التفاعل مع الاحياء المائية ربما يعطي طريقة انتقال مهمة كذلك ولغرض حساب تركيز الفعالية لكل جزء من اجزاء البيئة المائية ولطرائق استعمال الانسان لمصادر المياه (الشكل 7.5) فقد وضعت بعض النماذج. ان ابسط النماذج المائية هي تلك التي تعتبر الماء الذي يتسلم المواد المشعة بصفة حجم مفرد ويفترض بان النويدات المشعة تخفف بصورة منتظمة في هذا الحجم من الماء.



الشكل 7.5 تعرض السكان الناتج عن اطلاق المواد المشعة الى البيئة المائية

التركيز في البيئة المائية (Concentration in aquatic media)

ان تركيز النويدات المشعة في الماء او في رواسب الشاطىء او في منتجات الاغذية المائية يتم حسابه من معدلات الطرح السنوية من المنشآت النووية ومن معدلات انسياب النفايات (Effluent flow rates) ومن عمليات المزج والتخفيف في وسط الاستقبال (النهر مثلا) ومن معامـلات التركيـز الحيويـة (Bioaccumulation factors) للكائنات المائية.

كما ان نسبة المزج Mp ترمز الى تخفيف النفايات السائلة بين نقطة الطرح وموقع التعرض. واذا حدث زيادة في درجة الحرارة بسبب عمليات المزج بالدرجة الاساس فان نسبة المزج يمكن ان تقدر بالمعادلة التالية

$$Mp = \frac{Tp - TA}{To - TA} \quad \text{......... (5.56)}$$

حيث تمثل TA درجة حرارة الجو لمنطقة التسلم و Tp تمثل درجة الحرارة فى منطقة التعرض لطريق الانتقالP فيما لو لم يكن هنالك تبخير او تأثيرات اشعاعية.

To درجة حرارة النفايات في نقطة الطرح.

ان معامل اعادة التركيز (Reconcentration factor) و رمزه Ni يرمز الى الدرجة التي تتم فيها مداورة النفايات خلال المنشأة النووية. واذا لم يكن هنالك اعادة تركيز فان قيمة Ni = 1 وقد تستعمل عدة معادلات لغرض حساب معامل اعادة التركيز. ومتى ما حسبت نسبة الخلط Mp ومعـامل اعادة التركيز Ni فان التركيز في الماء Ciw للنويـدة المشعة i يحسب بالمعادلة

$$Ciw = 1119\ Qi\ Ni\ Mp/Fr \quad \text{...... (5.57)}$$

حيث ان 1119 هي وحدة معامل التحويل من كيوري/سنـة لكل قدم^3/ ثانية الى pCi لكل لتر.

وQi هو معدل اطلاق النويدة المشعة i كيوري/ سنة وFr هو معدل جريان النهر السنوي (قدم^3/ثانية) .

يتعلق تركيز النويدات المشعة في الاغذية المائية بصورة مباشرة بالتركيز في الماء. ان نسب التوازن بين هذين التركيزين يدعى معاملات التراكم الحياتية.

ان التركيز في الاغذية المائية Cip وعلاقته بالتركيز في الماء معطى بالمعادلة التالية

$$Cip = Ciw\ Bip \quad \ldots\ldots\ (5.58)$$

حيث تمثل Bip معامل التراكم الحياتي للنويدة؛ وطريق الانتقال P.

جرع الانغماس في الماء (Water immersion doses)

ان المعادلة المستعملة لحساب الانغماس في الماء هي

$$Dwimm = (1.0 \times 10^{-6})(8760)\frac{Rt}{d}\ \frac{1-\exp(-\lambda Tt}{\lambda t}(86400)Cwimm \quad \ldots\ldots \quad (5.59)$$

حيث تكون Dwimm هي جرعة الانغماس في الماء (rem/ سنة)

Rt هو معدل الترسيب السطحي (pCi/سم^2 - ثانية)

d هو عمق الماء بالسنتمتر

λT هو ثابت الانحلال الاشعاعي λr + ثابت الانحلال البيئي للماء λW (الذي يساوي ١ /يوم)

t هو زمن التراكم في الماء (يوم)

Cwimm هو معامل تحويل الجرعة للانغماس في الماء بوحدات ريم - سم^2/ مايكروكيوري (μCi) ساعة

الجرع الاشعاعية الناتجة عن استهلاك الاسماك

وتخمن باستعمال المعادلة

$$DRF = Ci\ D_c B_F G_D D_y V_{IN} RM \quad \text{..... (5.60)}$$

حيث ان Ci هو تركيز النويدة المشعة بوحدات البكريل/سم^3 و D هو معامل تحويل الجرعة الى مليسيفرت/سنة و Bf هي معامل التراكم الحيوي لنويدة مشعة في الاسماك، هنالك قيم للمياه العذبة والمياه المالحة تستخلص من جداول خاصة و GD معدل تناول الاسماك من قبل الافراد بوحدات غرام في اليوم و Dy هو عدد الايام في السنة و V_{IN} هو معامل تحويل جرعة التعرض الخارجي بوحدات مليسيفرت في السنة لكل بكريل و RM هو معامل مقداره 10^3 مليسيفرت في كل 1 سيفرت.

الجرع الاشعاعية الناتجة من شرب الماء

ان الجرع الاشعاعية الناتجة من تناول الماء الملوث بالنويدات المشعة المطلقة الى البيئة يمكن ان تحسب باستعمال المعادلة

$$DRWI = Ci\ Ac\ Cd\ Dy\ V_{IN}\ RM \quad \text{.... (5.61)}$$

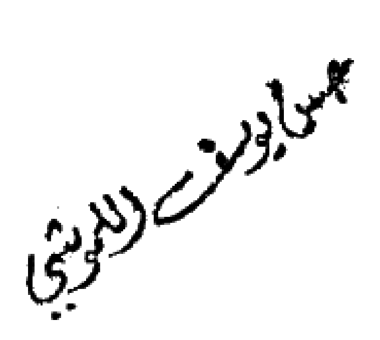
حيث ان القيم RM, V_{IN}, Dy, Ci مماثلة للقيم المعطاة لحساب الجرع الناتجة من تناول الاسماك الملوثة بالنويدات المشعة و Ac يمثل 10^3 سم في اللتر الواحد و Cd هي معدل استهلاك الانسان للماء بوحدات اللتر في اليوم.



الفصل السادس

الجرع الاشعاعية الناتجة من تعرض السكان للاشعاعات المؤينة

Radiation Doses Due to Public Exposure to Ionizing Radiation





الفصل السادس

الجرع الاشعاعي الناتجة من تعرض السكان للاشعاعات المؤينة

من الممكن تقدير ومقارنة جرع التعرض الى المصادر المشعة الطبيعية والمصنوعة من قبل البشر.

ان بعض هذه المصادر منتشرة عالميا كما هو الحال لمعظم النويدات المشعة الطبيعية وهنالك مصادر اخرى تكون ذات مواقع ثابتة مثل الطرح من المنشآت النووية.

كما ان بعض المصادر مثل اجهزة الاشعة السينية تعطي تعرضا خارجيا فقط ولا تسبب اي تلوث للبيئة وهنالك مصادر اخرى تؤدي الى توزيع النويدات المشعة بصورة واسعة في اي او كل قواطع البيئة مثل الهواءوالتربة والماء. ان التعرض ربما يكون الى اشعاع خارجي او تعرض داخلي او اندماج كليهما.

ان كميات مقاييس الجرع التي تستعمل لوصف تعرض الافراد او السكان الى الاشعاع قد تم التكلم عليها في الفصل السابق. ان اوسع كمية مستعملة لوصف التعرض هي الجرع الممتصة في اي نسيج او عضو وكلما كان ذلك ممكنا فان النتائج تنتشر اولا على شكل جرع ممتصة او مكافىء جرع يحتاج لها للجمع بين مترتبات الاشعاع المختلفة اما الجرع المؤثرة المكافئة فانها تستعمل للدلالة على مخاطر الاشعاع النسبية للاحتمالية (Stochastic) الناتجة عن تشعيع اعضاء الجسم. ان هذه الكميات تعتبر ملائمة لوصف تشعيع الافراد ولاي فرد فانه يمكن استعمال مكافىء الجرع المؤثرة للحصول على تخمين معقول لاحتمالية الحث على حدوث تأثير قابل للتخمين كالامراض السرطانية القاتلة والتأثيرات الوراثية الشديدة في الجيلين الاولين.

ان نماذج مقاييس الجرع اللازمة لتقدير الجرع للاعضاء والانسجة من القياسات للجرع الممتصة في الهواء قد تم وصفها وكذلك تلك التي تظهر الحاجة لها لتقدير الجرع في الاعضاء والانسجة من تناول الفعالية او من تركيز

الفعالية في نفس الانسجة والاعضاء الاخرى. انها تستند الى قياسات حركة النويدات المشعة في الجسم وسرعة التخلص منها لنسيج او عضـو معين في الجسم وخواص الاعضاء والانسجة وكذلـك الاشعاع المنبعث من كـل من النويدات المشعة. يعمد في بعض الاحيان لتقدير الجرع من اي مصدر الى القياسات المباشرة وهذه القياسات ربما تكون لمعدل الجرع الخارجية كـما في معظم التقديرات للتعرض المهني الـذي سوف يتم التكلم عليـه في الفصل السابع وكذلك التعرض الخارجي الناتج من المتساقطات او الجرع الناتجة من الاشعة السينية او من تركيز الفعالية في اعضاء وانسجة جسم الانسان ولبعض التعرض الناتج من اندماج النويدات المشعة المنتجة طبيعيا. هنالك تقديرات اقل مباشرة يمكن اجراءها من قياس تركيز فعالية النويدات المشعة في الهواء والاغذية التي تستهلك من قبل الناس وفي هذه الحالـة فانـه يتطلب تـوفير معلومات اضافية لسرعة تناول النويدات المشعة من الهواء والاغذية المتناولة قبل استعمال نماذج مقاييس الجرع. ان هذه الطرائق الاقل مباشرة تستعمل لعدد من النويدات المشعة المنتشرة في البيئة وخاصة لتقديـر تعرض الافـراد للتشعيع نتيجة لطرح المواد المشعة من المنشآت النووية وكذلك لتقدير الجرع الاشعاعية من بعض النويدات المشعة الناتجة من مصادر الاشعاع الطبيعية.

الجرع الاشعاعية الناتجة من التعرض الى مصادر الاشعاع الطبيعية

(Radiation doses due to the exposure to natural radiation sources)

تشمل مصادر الاشعـاع الطبيعيـة الاشعة الكـونية والعنـاصر المشعة المتولدة بفعل الاشعة الكونية ومصادر الاشعاع ذات المنشأ الارضي.

1.1.6 دليل كمية الجرع الممتصة من الاشعة الكونية

(Absorbed dose indexes from comic rays)

ويتـألف هذا الـدليل من اثنـين من المكونـات هما المكـونات المؤينـة والنيوترونات وهما يسببان تعرضا خارجيا للاشعاع

عبدالرحمن الحويطي

المكونات المؤينة

يعتبر معدل التـاين (Ionization rate) لوحـدة حجم الهواء لكثـافة الفيض لجميع الجسيمات المشحونة من مكونات حقل الاشعة الكونية ويصطلح عليه اعتياديا كعدد الايونات المتولدة في الثانية لكل سنتمتر مكعب من الهواء في الظروف القياسية من حرارة وضغط حيث تتراوح قيمته على مستوى سطح البحر 1.9 – 2.6 سم مكعب في الثانية وعلى هذا الاساس فان دليل كمية الجرع الممتصة في الهواء هو $3.2x10^{-5}$ mGy^{-1}

ان الجرع المتسلمة من تصـادم مون الالكـترونات (Muon collision electrons) يشكل نحو 75% من دليل كمية الجـرع الممتصة بينـما يعطي انحلال مون الالكترونات (Muon decay electrons) نحو 15% بينما تنتج العشرة بالمائة الباقية من دليل الجرع الممتصة من الفعاليات الاخرى.

ان دليـل الجرع السنـوية الممتصـة (Annual absorbed dose index) الناتجة من التعـرض الى هذا النـوع من الاشعاع يبلغ 0.28 ملغـراي في الساعة على مستوى سطح البحر مع اهمال كون البنايات تؤلف درعا واقيا.

مكافىء الجرع المؤثرة السنوية الناتجة من الاشعة الكونية
(Annual effective dose equivalent from cosmic rays)

ان مكـافىء الجـرع المؤثـرة السنـويـة النـاتجـة من المكـونـات المؤينـة والنيوترونات تمثل الجرع المتسلمة من قبل كل اعضاء الجسم وحيث ان القيمة النوعية (Quality factor) للاشعة المؤينة هي واحد لذلك تكـون الجرعـة الناتجة هي 0.28 مليسيفرت على مستوى سطح البحر اما النيوترونات فان القيمة النوعية هي 6 لذا فان الجرع الناتجة تكون $10^{-2}x2.1$ مليسيفرت في مستوى سطح الارض.

2.1.6 الجرع الاشعاعية الناتجة من التعرض الى النويدات المشعة المولدة بفعل الاشعة الكونية

تضيف هذه المجموعة من النويدات المشعة قليلا الى الجرع الاشعاعية الناتجة من الطبيعة (Natural background) . ان النويدات المشعة مثل التريتيوم والبرليوم -7 والكاربون - 14 والصوديوم - 22 الناتجة بفعل الاشعة الكونية تعتبر من اكثر النويدات المشعة لهذه المجموعة اهمية. ان الجرع السنوية الممتصة نتيجة التعرض الى هذا النوع من التريتيوم تبلغ $1x10^{-8}$ غراي لجميع انسجة الجسم اما البرليوم - 7 فان الجرع الاشعاعية تكون اقل من $2.5x10^{-5}$ غراي لانسجة الجسم المختلفة اما الكاربون - 14 فان الجرع الممتصة السنوية للانسجة تتراوح بين $5x10^{-1}$ الى $2.2x10^{-5}$ غراي.

ان الجرع الاشعاعية الناتجة من هذه النويدات المشعة تعتبر ناتجة عن التعرض الداخلي بالدرجة الاساس.

3.1.6 الجرع الاشعاعية الناتجة من التعرض الى النويدات المشعة الملازمة لتاريخ الارض

وتشمل هذه النويدات المشعة البوتاسيوم - 40 وكذلك العناصر المشعة التابعة لسلاسل اليورانيوم - 238 والثوريوم - 232 وكذلك بعض نواتج الانشطار الذاتي لليورانيوم - 238

وهي تسبب تعرضا خارجيا وتعرضا داخليا للاشعاع .

الجرع الاشعاعية الناتجة عن التعرض الخارجي

تشمل الجرع الاشعاعية الناتجة عن التعرض الخارجي للاشعاع من النويدات المشعة ذات المنشأ الارضي (الملازمة لتاريخ الارض)

والجرع الاشعاعية خارج الابنية (العراء) حيث تحسب الجرع الاشعاعية عادة على مسافة متر واحد فوق سطح الارض.ان هذا التعرض يأتي من سلسلة اليورانيوم وسلسلة الثوريوم والبوتاسيوم - 40 .

ويكـون معدل الجـرع المتصـة النـاتجـة من الارض في العـراء هـو $5x10^{-1}$ غراي في الساعة. ان هذه الجـرع المتصة قد تختلف من بلد الى بلد اخر و تترواح الطبيعية منهـا بين $3.7x10^{-8}$ الى $9.4x10^{-8}$ غـراي لكل ساعة. ان نحو 95% من سكان العـالم يعيشون ضمن هـذا المجال ويقـع العراق ضمن هذه المجموعة.

هنالك مناطق في العالم تتجاوز الجرع الاشعاعية الطبيعية فيها الناتجة من قشرة الارض هذه الحدود ومن هذه المناطق بعض المقاطعات الايطالية مثل لازيـو (Lazio) ومقاطعتي كـامباني (Campania) وكـذلك بعض مناطق البرازيل وفرنسا ونايجيريا وذلك بسبب وجود الخامات المحتوية على نسب عالية مـن اليـورانيـوم والثـوريـوم ومـن امثلة ذلـك مـادة المـونـوزايـت (Monazite) المحتوية على 9 - 10.5% ثوريوم. ان الجرع الاشعاعية في هذه المناطق قد تبلغ $2.3x10^{-6}$ غراي لكل ساعة .

الجرع الاشعاعية الناتجة من التعرض داخل الابنية

تكون معرفة مستوى الاشعاع داخل الابنيـة ضرورية لتقـدير الجـرع الاشعاعية للسكان وذلك لان اكثر الافراد يقضون جزءاً كبيـراً من اوقاتهم داخل الابنية. ان العلاقة بين الجرع الاشعاعية المتسلمة داخل الابنية والجرع الاشعاعية المتسلمة خارجها يعتمد بالدرجة الاولى على نوع المواد التي تصنع منها الابنية ومنشأ هذه المواد.

ان الابنية تسلك بصفة مصدر للتعرض من ناحية ومن الناحية الاخرى تسلك بصفة دروع واقية من التعرض الذي يأتي من خارج الابنية .

ان السكن داخل ابنية مصنوعة من الخشب يسبب تعرضا ضئيلا جدا وبنفس الوقت لا تكون هذه الابنية دروعا واقية جيدة من مصادر الاشعاع خارجها. وبصورة عامة فان معدل الجرع الممتصة داخل هذه الابنية يكون أوطأ من الجرع الممتصة في العراء اما في الابنية المصنوعة من الطابوق او الكونكريت او الصخور فأن اشعة كاما التي هي من مصدر خارج الابنية تمتص من قبل الجدران وتكون الجرعة الممتصة معتمدة على النشاط الاشعاعي للنويدات المشعة الطبيعية التي في مواد البناء وفي كثير من الحالات فأن مواد البناء تكون محلية وبذلك تكون مساوية من ناحية النشاط الاشعاعي للتربة او المناطق المبلطة المحيطة بالمناطق السكنية وعندئذ قد تصبح نسبة التعرض داخل الابنية الى التعرض في العراء نحو 1.18 وتتفاوت حسب الشكل الهندسي للبناء ووجود الابواب والنوافذ وتكون النسبة نحو 1.35 عندما يكون البيت مصنوعا من الطابون و 1.48 عندما تكون البناية مصنوعة من الكونكريت .

أن المعدل العالمي للجرع المتسلمة نتيجة التعرض الخارجي هو $10^{-8}x4.9$ غراي لكل ساعة وتبلغ الجرع الاشعاعية الممتصة بصفة معدل عالمي $10^{-8}x5.8$ غراي لكل ساعة.

4.1.6 مكافىء الجرع السنوية المؤثرة الناتجة من التعرض الى اشعة كاما الارضية

التعرض الخارجي

ان من الممكن اعتبار الرقم 0.7 افضل نسبة لمعدل الجرع الممتصة في الجسم مقارنة للجرع الممتصة في الهواء. ان هذه النسبة تنطبق على الذكور والاناث كما تنطبق داخل الابنية وفي العراء كذلك واذا اخذنا بنظر الاعتبار ان الافراد يقضون 20 % من الوقت في العراء وان المعامل النوعي لاشعة كاما

هو واحد يكون مكافىء الجرع المؤثرة السنوية لاشعة كاما الارضية في العراء هو 5.5×10^{-5} سيفرت وتكون القيمة داخل الابنية 2.6×10^{-4} سيفرت. على اعتبار ان الافراد يقضون 80% من الوقت داخل الابنية وبذلك تكون الجرع المتسلمة داخل وخارج الابنية الناتجة من التعرض لاشعة كاما ذات المنشأ الارضي 3.2×10^{-4} سيفرت. وبالاضافة الى اشعة كاما فان اشعة بيتا المنبعثة من بعض النويدات المشعة الطبيعية التي في الهواء والتربة تسبب تعرضاً لجرع اشعاعية واطئة تقدر بـ 7×10^{-6} سيفرت في السنة بينما تضيف نواتج انحلال الرادون والثورون في الهواء قليلا الى التعرض الخارجي لاشعة كاما.

الجرع الاشعاعية الناتجة من التشعيع الداخلي

النويدات المشعة ذات المنشأ الارضي التي تسبب جرعا اشعاعية عن طريق التشعيع الداخلي هي تلك المنتمية الى سلسلة اليورانيوم - 238 واليورانيوم - 235 والثوريوم - 232 وبعض النويدات المشعة الاخرى مثل البوتاسيوم - 40 والرابديوم - 87 وهذه هي المهمة منها فقط بوصفها مصدرا للجرع الاشعاعية. ان اعلى جرعة ممتصة مسببة بفعل البوتاسيوم - 40 هي لنخاع العظام الاحمر وتبلغ 2.7×10^{-4} غراي/ سنة. اما الرابديوم - 87 فان الخلايا المبطنة للعظام تتسلم اعلى جرعة نتيجة التعرض له وتبلغ هذه 8×10^{-6} /سنة.

ان الجرعة السنوية الممتصة الناتجة من اليورانيوم - 238 تبلغ 2×10^{-8} غراي للرئة و 3×10^{-6} غراي في السنة للخلايا المبطنة للعظام. اما الثوريوم - 230 فان مكافىء الجرع السنوية الكلية يبلغ 6.8×10^{-6} سيفرت.

كما ان الراديوم - 220 يسبب جرعا اشعاعية كذلك ويبلغ مكافىء الجرع المؤثرة السنوية الناتجة 6.2×10^{-6} سيفرت.

يكون استنشاق الرادون – 222 ونواتج انحلاله القصيرة العمر هو الطريق الرئيس لتعرض البشر لهذه النويدات المشعة. كما ان معدل تركيز الرادون – 222 المكافىء في الهواء المحصور داخل الابنية يبلغ 10 اضعاف تركيزه في الهواء الطلق بالاضافة الى ان استعمال المياه الحاوية تراكيز عالية منه في البيوت يؤدي الى زيادة الجرع الاشعاعية الناتجة عنه.

ان مكافىء الجرع المؤثرة للرئة هو 4.6×10^{-5} سيفرت لكل بكريل/م3 في السنة داخل الابنية و1.5×10^{-5} سيفرت لكل بكريل/م3 في السنة فيما يخص التعرض له في الهواء الطلق.

كما ان الجرع الممتصة من سلسلة الرصاص – 210 تعتمد بالدرجة الاولى على دقائق الفا للبولونيوم – 210 ذات الطاقة العالية بينما تعطي دقائق بيتا الناتجة من الرصاص – 210 والبزموث – 210 نحو 10% من المجموع الكلي للجرع البالغ 6×10^{-3}غراي.

يكون الثوريوم – 232 هو النويدة المشعة الوحيدة الطويلة العمر في سلسلة الثوريوم – 232 وتعطي مكافىء جرع مؤثرة لكافة اعضاء الجسم مقدارها 2.8×10^{-6} سيفرت.

تضيف سلسلة الراديوم – 228 كذلك الى الجرع الاشعاعية الناتجة من التعرض الداخلي للنويدات المشعة ذات المنشأ الارضي. ان العمر الفيزياوي للراديوم – 228 يعتبر قصيرا نسبيا (5.8 سنة) وان تركيزه في الجسم يأتي بالدرجة الاولى عن طريق تناوله في الغذاء وهو يترسب بصورة خاصة في انسجة العظام.

الجرع الممتصة السنوية الناتجة من الراديوم - 228 تبلغ نحو 10^-9x3 غراي والثوريوم - 228 نحو 10^-7x2 غراي والاكتينيوم - 228 تبلغ 10^-7x1.7 وللراديوم - 224 تبلغ 10^-6x1.3 غراي

ويعتبر الاستنشاق الطريق الرئيس الذي يتعرض من خلاله البشر للرادون - 220 ونواتج انحلاله القصيرة العمر. ويبلغ مكافىء الجرع المؤثرة السنوية الناتجة عن استنشاقه في العراء 0.01 مليسيفرت و 0.4 مليسيفرت للتعرض داخل الابنية.

كما أن التعرض الكلي الناتج من النويدات المشعة ومصادر الاشعاع الطبيعية للاشخاص البالغين الذين يعيشون في مناطق ذات نشاط اشعاعي اعتيادي موضح في الجدول 1.6 حيث يحسب التعرض على شكل مكافىء جرع مؤثرة (Effective dose equivalents) وذلك لسهولة المقارنة بين مصادر الاشعاع المختلفة.

يبلغ مكافىء الجرع المؤثرة للتعرض الداخلي ضعفي ذلك للتعرض الخارجي ومن ضمن النويدات المشعة المسببة للتعرض الداخلي نواتج انحلال الرادون - 220 القصيرة العمر التي تسبب نحو 27% والبوتاسيوم _40 الذي يسبب نحو 11% والبولونيوم - 210 والرصاص - 210 اللذان يسببان 8% . اما التعرض الخارجي فان مكافىء الجرع المؤثرة الناتجة من الاشعة الكونية يزيد قليلا على مكافىء الجرع الاشعاعية المؤثرة الناتجة من الاشعاع ذي المنشأ الارضي .

2.6 التعرض للاشعاع الطبيعي (المحور تقنياً)

(Technologically modified exposures to natural radiation)

قد لا تستلم الجرع الاشعاعية الناتجة عن مصادر الاشعاع الطبيعية او انها تزيد نتيجة الفعاليات التي يقوم بها البشر مثل نوع المعيشة والسفر واستخدام الطاقة .

الجدول 1.6 مكافىء الجرع السنوية المؤثرة المقدرة الناتجة عن مصادر الاشعاع في المناطق ذات الخلفية الاشعاعية الاعتيادية

المصدر	مكافىء الجرع المؤثرة السنوية (μSv)		
	التشعيع الخارجي	التشعيع الداخلي	المجموع
الاشعة الكونية			
المكونات المؤينة	0.28		0.28
المكونات النيوترونية	0.02		0.02
النويدات المتولدة بفعل الاشعة الكونية		0.015	0.015
النويدات ذات المنشأ الارضي			
البوتاسيوم – 40	0.12	0.18	0.30
الربديوم – 87		0.006	0.006
سلسلة اليورانيوم – 238	0.09	0.95	1.04
سلسلة الثوريوم – 232	0.14	0.19	0.33
المجموع	0.65	1.34	2.0

المصدر ICRP 39 (1984) 63

1.2.6 الجرع الاشعاعية الناتجة من استخدام النواتج العرضية والنفايات

تسبب النواتج العرضية والنفايات الناتجة عن صناعة حامض الفسفوريك المستعملة في البناء تعرضا اشعاعيا كما ان بناية تحوي على مادة الجبس قد تعطي جرعا اضافية لشاغلي البناية مقدارها 1×10^{-8} غراي في الساعة وتختلف هذه الجرعة حسب كمية الجبس المستعملة في البناية وتركيز الراديوم في الجبس.

وتعطي مادة سلكات الكالسيوم المتخلفة من المعاملة الحرارية لانتاج حامض الفسفوريك جرعا اشعاعية كذلك فيما لو استخدمت في الصناعة والتشييد. لقد وجد ان استعمال هذه المادة في الاسفلت قد ادى الى اعطاء جرع اشعاعية ناتجة عن التعرض الخارجي لاشعة كاما في الهواء تبلغ 10^{-8} غراي لكل ساعة فوق سطح الارض. اما اذا استعملت هذه المادة في البناء فانه قد وجد انها اعطت جرعة اشعاعية معدلها 0.1 مايكروغراي في الساعة ولقد وصلت الجرعة في بعض البيوت الى 0.5 مايكروغراي في الساعة في حين كان معدل الجرعة الممتصة في البيوت التي لم تستعملها في البناء 0.09 مايكروغراي في الساعة.

كما ان السكن في المناطق التي انتهى منها التعدين الفوسفاتي يضيف كذلك الى الجرع المتسلمة بصورة طبيعية حيث ان الخلفية الاشعاعية لهذه المناطق تكون عالية ولقد وجد ان الجرع الممتصة في الهواء في البيوت التي اقيمت في هذه المناطق قد تصل لغاية 0.3 مايكروغراي في الساعة.

2.2.6 الجرع الاشعاعية الناتجة عن التعرض داخل الابنية

تسبب النويدات المشعة تعرضا خارجيا للاشعاع داخل الابنية وان هذه النويدات المشعة هي البوتاسيوم - 40 والراديوم - 226 والثوريوم - 232.

ان معدل الجرع المتسلمة يعتمد على تركيز الفعالية لهذه النويدات المشعة بالدرجة الاساس وعلى موقع الشخص في الغرفة وفيما اذا كان السكن في بيت او بشقة في بناية مؤلفة من عدة طوابق او بيت منفرد او شقة منفردة.

وبالاضافة الى التعرض الخارجي فأن الجرع الاشعاعية داخل الابنية تنتج كذلك من استنشاق نـواتج انحـلال الرادون وهـو ينتج من التعـرض الخارجي لتراكيز الرادون العالية في مواد البناء وفي التربة ولربما عاد كذلك الى ارتفاع نواتج انحلال الرادون لنفس الاسباب او لزيادة انبعاث الرادون من التربة او لزيادة تراكيز الرادون في الماء والغاز الطبيعي .

ان استعمال مواد بناء محتوية على نسب عـالية من النـويدات المشعـة كالبوتاسيوم – 40 والراديوم – 226 والثوريوم – 232 سـواء أكانت ذات منشأ طبيعي كصخور الگرانايت أم منشأ صناعي كالجبس الفوسفاتي وبقايا احراق الفحم الحجري فأنها سوف تعطي جرعا ممتصة اعلى من معدل الجرع الاعتيادية بمقدار يتراوح بين 28 – 114x 10^{-8} غراي في الساعة.

ويقابل الزيادة في الجرع الاشعاعية هذه عامل توهين للتعرض الناتج من الاشعة الكونية فيما يخص السكن داخل الابنية قد لا يؤخذ بنظر الاعتبار في كثير من حسابات الجرع الاشعاعية المتسلمة في العراء. ان الجرع المتسلمة في العراء قد تكون اكثر من الجرع الاشعاعية المتسلمة داخل الابنية وهـذا يعتمد بالطبع على مواد البناء المستعملة وطريقة التهوية.

3.2.6 الجرع الاشعاعية الناتجة عن التعرض المتزايد للاشعة الكونية .

يؤثر الارتفاع على الجرع الاشعاعية الناتجة من الاشعاع الطبيعي .

ان اختلاف معدل الجرع الناتجة عن تغير كثافة الفيض للاشعة الكونية بالارتفاع او فعالية الشمس يكون مهماً جداً ولهذا فأن المجموعات السكانية التي تعيش في الارتفاعات العالية تستلم جرعاً اعلى من الاشعة الكونية من السكان الذين يعيشون على نفس مستوى سطح البحر وتزداد الجرع السنوية من 0.2 مليسيفرت الى 2 مليسيفرت عند الارتفاع عن مستوى سطح البحر الى نحو 2000 متر وتختلف الجرع الاشعـاعية الممتصـة الناتجـة من الاشعة الكونيـة في قوتهـا بمقدار الضعف خـلال دورة الاحدى عشرة سنـة للشمس.

وتتناسب كثافة الفيض بصورة عكسية مع فعالية الشمس.

وتبلغ الجرع الاشعاعية على مسافة 12 كيلومترا في الجو 4 مايكروسيفرت في الساعة واذا ما ارتفع الى مسافة 20 كيلومترا فأنه سوف تكون هنالك جرع اشعاعية اضافية ناتجة عن النجوم الذرية (Nuclear stars) وهي تفاعلات موضعية نووية للاشعة الابتدائية الكونية ذات الطاقات العالية مما يسبب جرعا مقدارها $10^{-1}x6$ مايكروغراي في الساعة.

اما مجمل مكافىء الجرع المؤثرة للاشعة المؤينة والنيوترونات والنجوم النووية يبلغ نحو 13 مايكروسيفرت/ ساعة.

تنخفض الجرع الممتصة بمقدار 30% بواسطة 50 غرام/ سم^3 من المواد ويرجع هذا الانخفاض بالدرجة الاولى الى توهين الالكترونات الساقطة ولهذا فأن الابنية توفر حماية ودروعاً واقية ضد الاشعة الكونية ويكون التدريع اكثرفيالعمارات العالية المتعددة الشقق من البيوت المفردة السكن.

ركاب الطائرات

تعتمد الجرع المتسلمة بالدرجة الاولى على ارتفاع الطائرة وبدرجة اقل على خطوط العرض وفعالية الشمس.

ويبلغ معدل الجرع الممتصة الناتجة من الطيران التجاري 0.34 مايكروغراي في الساعة ويكون مكافىء الجرع 1.35 مايكروسيفرت في الساعة. وبالرغم من ان الارتفاعات الاعلى تعطي جرعا اشعاعية اعلى الا انه وجد ان الطيران بطائرات اسرع من الصوت يؤدي الى التعرض الى جرع اشعاعية تقل 70% عن الجرع الناتجة بطائرات ذات سرعة اقل وذلك بسبب الزمن الاقصر المستغرق في الطيران ان جميع هذه الجرع قد تكون مسببة بفعل الاشعة الكونية من الكواكب (Galactic cosmic rays) بالاضافة الى ذلك فأن الانفجارات الشمسية قد تضيف الى هذه الجرع .

رواد الفضاء

عند سفر رواد الفضاء في رحلاتهم فأنهم يتعرضون الى جسيمات الاشعة الكونية الابتدائية (Primary comic ray particles) بالاضافة الى الاشعاع العالي الذي في الحزامين الاشعاعيين.لقد وجد ان القياسات خلال درع مقداره 0.7 غرام لكل سنتمتر مربع قد اعطت جرعا ممتصة قصوى تمر خلال الحزام الداخلي تبلغ 0.22 غراي في الساعة ومن خلال عبور الحزام الخارجي 0.54 غراي لكل ساعة.

ان رحلة فضائية لمدار حول القمر قد تكلف رواد الفضاء جرعا مقدارها 4.7×10^{-3} غراي خلال 192 ساعة من السفر في الفضاء كما ان رحلة اخرى في الفضاء بمدار حول الارض قد تكلف رواد الفضاء جرعا مقدارها 2.1×10^{-3} غراي خلال 241 ساعة سفر وهذا ما تم ملاحظته خلال رحلات Apollo الامريكية.

3.6 الجرع الاشعاعية الناتجة عن التعرض الى بعض السلع الاستهلاكية

يسبب استعمال الساعات المحتوية على المواد المشعة تعرضا مثل التعرض الناتج عن استعمال الراديوم ـ 226 الذي يكوّن تعرضاً خارجياً بالدرجة الاولى. ان الجرع السنوية للانسجة التناسلية تبلغ 1.6×10^{-8} غراي لكل بكريل للساعات اليدوية. ان توصيات الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة OECD تضمنت ان لا تتجاوز الفعالية الكلية للراديوم - 226 بكريل وهذا الحد يوازي جرعة ممتصة الى الانسجة التناسلية التي مقدارها $40 \mu Gy$ فيما اذا حملت الساعة 16 ساعة في اليوم.

ان الاشخاص الذين يستعملون الساعات المنضدية 8 ساعات في اليوم يتسلمون جرعاً اشعاعية للانسجة التناسلية تبلغ 1.6×10^{-10} غراي لكل بكريل على مسافة مترين في الساعة واذا كانت فعالية الراديوم - 226 التي في

ساعات التوقيت تبلغ 5.5 كيلو بكريل هو الحد الموصى بـه حيث يعطي جرعة للانسجة التناسلية مقدارها $1 \mu Gy$.

ان التريتيوم الذي في الساعات لا يسبب جرعاً خارجية مهمة وذلك للطاقة المنخفضة لاشعة بيتا ولاشعاع الايقاف الناتج عن التريتيوم. ومعدل الجرعة للسنة لوحدة الفعالية في اصباغ التريتيوم من ساعة يدوية تلبس بصورة مستمرة تبلغ $8x10^{-5} Gy Bq^{-1}$ وان القيم تتراوح بين $3x10^{-15}$ الى $8x10^{-14} Gy Bq^{-1}$ اما الساعة المنضدية المحتوية على التريتيوم التي يكون التعرض لها 8 ساعات في اليوم معدلا فأن معامل الجرعة يكون نحو $3x10^{-15} Gy\ Bq^{-1}$ لساعات التوقيت المنضدية. ان الفعالية البالغة 40 MBq تسبب جرعاً لعموم الجسم مقدارها $0.3 \mu Gy$ للشخص الذي يلبس الساعة اليدوية و $0.1 \mu Gy$ للشخص الذي يكون قرب الساعة المنضدية المحتوية على التريتيوم.

والاجهزة الزمنية المحتوية على البروميثيوم – 147 لا تسبب خطراً للتشعيع الخارجي حيث يطلق هذا النظير المشع اشعة بيتا النقية وان اقصى طاقة لدقائق بيتا هي 224 Kev وهي تحجزبما يقارب $46 mg\ cm^{-2}$ وحيث ان التعليمات الدولية (OECD, IAEA) توصي بسمك لا يقل عن $50 mg\ cm^{-2}$ لتغليف الساعات ولهذا فأنه لا يتوقع حدوث تعرض لاشعة بيتا ومع هذا فأنه يتوقع حدوث تعرض خارجي قليل راجع الى اشعاع الايقاف ولقد قدرت الجرعة السنوية للانسجة التناسلية $10^{-13} x1.4$ غراي لكل بكريل. والتقدير المتحفظ البالغ 1.5 MBq للبروميثيوم – 147 الذي في الساعات يعطي جرعا اشعاعية للانسجة التناسلية مقدارها $10^{-7} x2$ غراي. ان الجرع السنوية للانسجة التناسلية الناتجةمن الساعات المنضديةالمطلية بالبروميثيوم – 147 تبلغ $10^{-9} X2$ غراي.

تسبب كواشف الحريق المحتوية على مصادر الامريسيوم – 241 والراديوم – 226 والبلوتونيوم – 238 والكربتون – 85 والنيكل – 63 جرعاً اشعاعية ناتجة عن التعرض الخارجي وهذه الجرع تنتج من صناعة

وتوزيع واستعمال وردم هذه المصادر او احراقها. ان الجرع الكلية لعموم الجسم الناتجة عنها تبلغ بهذا 11 man Gy ناتجة معظمها من التعرض الخارجي عند استعمالها.

كما ان استعمال اليورانيوم والثوريوم في المنتجات الاستهلاكية يؤدي الى خطورة الجرع الجسمية الناتجة عن نواتج الانحلال المشعة لاشعة بيتا وبصورة عامة فأن الجرع المتسلمة تكون قليلة وذلك لبعد الاجهزة عن متسلمي الجرع ما عدا بعض الحالات حيث ان بعض العدسات الضوئية تحوي 30% بالوزن من اليورانيوم والثوريوم الذي يسبب جرعا عالية لعدسة العين. ان الجرع الممتصة في الهواء على سطح العدسة المحتوية على 18% ثوريوم بالوزن مقيسة بواسطة مقياس جرع الوميض الحرارية تساوي $1x10^{-5}$ غراي لكل ساعة.

ان تراكيز اليورانيوم والثوريوم العالية في العدسات الناتج من صناعتها قد حدد من قبل بعض الدول وان هذه الحدود النسبية للعدسات المصنعة يجب ان لا تتجاوز 30 dpm لكل غرام او ما يساوي 0.5 بكريل لكل غرام للنظائر المشعة اكتنيوم-228 والرصاص - 212 والرصاص - 214. ان هذه الحدود قد تنتج مكافىء جرع مقدارها 5 mSv لاحدى طبقات القرنية (Corneal germinal layer).

يسبب استخدام اليورانيوم في صناعات الاسنان جرعا للتعرض الخارجي لطبقة الفم الاساسية. واذا كان تركيز كتلة اليورانيوم المستنفد في الخزف هو 0.1% فأن الجرع الممتصة للطبقة الاساسية التي تبعد $30\,\mu m$ من الحد الفاصل تساوي 0.03 Gy في السنة ولما كان مدى اشعة الفا في الانسجة الطرية اقل من $30\,\mu m$ فأن معظم الجرع الممتصة تعود الى اشعة بيتا وعلى هذا الاساس فأن مستوى اليورانيوم قد حدد بـ $250 - 300\,\mu g$ لكل غرام من الخزف المستعمل في صناعة الاسنان.

ومن المصادر الاخرى التي تسبب الجرع الاشعاعية اجهزة التلفزيون حيث قد تعطي جرعا اشعاعية كبيرة. ان الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع قد

اوصت ان لا تتجاوز الجرع الاشعاعية 0.005 mGy في الساعة على مسافة 5 سنتمترات من الجهاز.

ان الدراسات في عدد من البلدان قد دلت على ان معدل التعرض على مسافة 5 سنتمترات من سطح التلفزيون الملون كانت نحو 0.01 mGy في الساعة مما يولد جرعا اشعاعية للانسجة التناسلية مقدارها 10 μGy عند المشاهدة الاعتيادية للتلفزيون.

كما ان استعمال انظمة مراقبة البضائع في المطارات يؤدي الى حدوث تعرض الى الاشعاع. لقد قدرت الجرع الاشعاعية التي يتعرض لها المسافر نتيجة فحص الاشعة بـ $1.3x10^{-2}$ μGy لكل رحلة طيران.

4.6 الجرع الاشعاعية الناتجة من توليد الطاقة الكهرونووية

لقد سبق ان بينا في الفصل الرابع ان خطوات انتاج الطاقة الكهرونووية تشمل التعدين والطحن لخامات اليورانيوم وتحويله الى وقود نووي وهو يشمل عادة تخصيب مكونات اليورانيوم - 235 وتحضير قضبان الوقود النووي وتوليد الطاقة في المفاعلات النووية واستخلاص الوقود ومداورة النظائر المشعة القابلة للانشطار والمخصبة وردم النفايات المشعة وبالاضافة الى ذلك فأن مواد الوقود النووي تنتقل بين المنشآت المختلفة في المراحل المتعددة لانتاج الطاقة وقد تشمل كذلك استعمال المفاعلات النووية في البحوث او لانتاج النظائر المشعة.

وتعطي النتائج المستحصلة التأثير الكلي لبرامج الطاقة النووية وهي لاتمثل موقعا معينا لمنشأة نووية وفي حالة محاولة التطبيق على اي موقع فأنه يجب الاخذ بنظر الاعتبار طرائق الانتقال البيئية والنفايات المشعة المطروحة لذلك الموقع.

ان الفعالية الاشعاعية الاصطناعية في انتاج الطاقة الكهرونووية ناتجة عن تشعيع الوقود النووي بالاضافة الى التنشيط النيوتروني لمواد الهيكل

وحاويات الوقود بالاضافة الى وجود بعض النظائر المشعة الطبيعية في مراحل تعدين وطحن اليورانيوم.

كما ان تنظيم طرح النفايات المشعة الى البيئة من المنشآت النووية يؤدي الى تسلم السكان لجرع اشعاعية قليلة مقارنة بالجرع الاشعاعية المسموح للتعرض لها التي سوف تناقش في فصل لاحق بما يقلل من احتمال الخطورة فيما يخص الافراد وتقل الجرع الفردية كلما ابتعدعن مصدر الاشعاع وان الجرع المتسلمة من قبل الاشخاص تختلف من منشأة نووية الى اخرى وكذلك من منطقة الى اخرى كما ان اضافة الجرع بعضها الى بعض يؤدي الى تكوين مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة التي يفترض ان تتناسب مع التأثير على الصحة (Health detriment) وعلى هذا الاساس فانه من الممكن حساب مثل هذه الجرع لكل وحدة طاقة كهربائية متولدة لكل مرحلة من مراحل انتاج الطاقة الكهرونووية.

تظهر الجرع المتجمعة المخصصة (Collective dose commitment) الناتجة عن توليد الطاقة الكهرونووية في اربع مجاميع من السكان وهذه المجاميع هي:

1 ـ السكان المعرضون بحكم عملهم في حقول الاشعاع سوف تتم مناقشة هذه المجموعة ضمن الحديث عن التعرض الوظيفي.

2 ـ السكان المقيمون في منطقة تشمل بضع مئات من الكيلو مترات حول موقع المنشأة النووية.

3 ـ السكان المقيمون في مناطق تبعد عدة الاف من الكيلو مترات عن المنشأة النووية.

4 ـ عموم سكان العالم.

ان الجرع المتجمعة المخصصة للسكان المحيطين بالموقع (Local population) وسكان المنطقة (Regional population) تخمن باستعمال النماذج

البيئية التي تم التحدث عنها في الفصل الخامس وذلك لان مستوى الفعالية من المواد المشعة الناتجة (Effluent) عن توليد الطاقة الكهـرونوويـة قليلة جدا لعامة الناس وللمواد البيئية. ان مراقبة البيئة باجراء القيـاسات (Monitoring) **للفعالية الناتجة عن طرح المواد المشعة** (Effluent release) قد تركزت حول السكان المحيطين بالموقع للتأكد من ان العمل يقع ضمن الحدود والضوابط الموضوعة من قبل السلطات المسؤولة.

1.4.6 تعدين وطحن اليورانيوم

ان الطرائق الرئيسة التي تسبب فيها الفعالية الاشعاعية المطروحة الى البيئة من تعدين وطحن اليورانيوم الجرع الاشعاعية للسكان هي:

1 ـ التعرض الخارجي المباشر الى اشعة كاما من النويدات المشعـة **التي في الغيمة او تلك المترسبة** او على سطح الارض.

2 ـ استنشاق الفعالية الاشعاعية في الرئة وربما اعادة التوزيع الى الاعضاء الاخرى في الجسم.

3 ـ تناول الفعالية الاشعاعية في الاغذية.

تنشأ مناجم ومطاحن اليورانيوم عادة في المنـاطق القليلة السكان وفي مناطق متعددة قاحلة وشبه قاحلة وغير صالحة للزراعة وتكون المناجم حتى في المناطق الكثيرة الامطار نائية وبذلك تكون الزراعة قليلة كذلك وبالاضافة الى ذلك فأن الفعالية المطروحة الى البيئة المائية تكون ضئيلة جدا ولهذا فإن الجرع الاشعاعية تنتج بالدرجة الاولى من المواد المشعة المحمولة جواً. اما في المناطق التي يكثر فيها المطر فأن الجرع الاشعاعية للسكان في المواد المشعة السائلة تأتي بـالدرجـة الاولى من الراديـوم - 226 في مياه الشرب ومن الاحيـاء المائيـة المستعملة للغذاء. لقد وجد في احدى الدراسات ان الجرع الاشعاعية الناتجة من شرب الماء الحاوي على الراديوم - 226 لم تتجاوز 80 مايكروسيفرت في السنة وهي تقل بصورة عامة عن الجرع المتجمعة الناتجة من طرح النفايات في الجو.

ويبلغ المجموع الكلي لمكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة المخصصة المعدلة من عمليات التعْدين والطحن $6x10^{-1}$ man Sv لكل $[GW (e)a]^{-1}$ ويعودنحو 93% منها الى عمليات التعدين كما ان الجرع المقدرة لغالبية السكان المعرضين تعتمد بالدرجة الاولى على خواص موقع المنجم او الطاحونة. ان مكافىء الجرع المؤثرة يتراوح بين بضع مئات من مايكروسيفرت في السنة لعدة مليسيفرت في السنة التي قدرت لطرح المواد المشعة الاعتيادي من المناجم والمطاحن.

اما فعالية الثوريوم - 230 في اكوام البقايا فانها سوف تكون مصدرا لانطلاق الرادون كما ان معدل الانبعاث للرادون - 222 قد يعطي جرعا متجمعة مؤثرة مخصصة مقدارها 2800 man Sv اضافي لكل $[GW (e)a]^{-1}$ على افتراض ان الانطلاق مستمر على نفس المعدل لمدة $10^{4}x1.1$ سنة.

ان الجرع الاشعاعية المخصصة المؤثرة المتجمعة الناتجة من الرادون لالف سنة من الاطلاق هي 28 man Sv لكل [GW(e)a]

2.4.6 تصنيع الوقود النووي

يُعزى التعرض الى الاشعاع والجرع الاشعاعية الناتجة من النفايات المشعة السائلة المتكونة من عملية تصنيع الوقود في بعض الدول بالدرجة الاولى الى التعرض الخارجي نتيجة المترسبات على ضفاف النهر قرب المعمل ويكون مكافىء الجرع المتجمعة المؤثرة السنوية قد قدر بانه اقل من $1 x 10^{-3}$ man Sv ويكون اكثر الافراد تعرضا نتييجة طرح النفايات المشعة السائلة في المياه العذبة مساويا لجرع اقل من 10% من الجرع المتسلمة نتيجة طرح الغازات. لقد قدر مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة المخصصة بنحو $10^{-7}x3$ رجل سيفرت لكل $[MW(e)a]^{-1}$ الى السكان المعرضين الى الوسط المائي للنهر وهناك اختلافات كبيرة جدا في سلوك النفايات المشعة المطلقة الى البيئة المائية ولهذا فان الجرع المتراكمة المخصصة المحسوبة تعطي فكرة فقط ويحتمل ان يكون

الطريق الرئيس لتعرض السكان الناتج عن تحويل وصناعة الوقود النووي يأتي عن طريق الطرح الى الجو. ان مواقع بعض منشآت تصنيع الوقود تؤدي الى ان تعرض السكان يتبع طريقا ناتجا عن الاستنشاق المباشر. ان الجرع الممتصة المخصصة الناتجة عن تناول الاغذية تقل بمعامل مقداره 50 مرة اقل من الجرع الناتجة عن الاستنشاق.

والخلاصة ان مكافىء الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة الناتجة عن تصنيع وقود اليورانيوم تبلغ $5.1x10^{-3}$ رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ ويكون المصدر الرئيس لهذه الجرع هو استنشاق نظائر اليورانيوم. اما طرح الرادون فانه يمثل 10% فقط من هذا المجموع وهو قليل بالمقارنة بالجرع الناتجة من الرادون الناتج من تعدين وطحن اليورانيوم.

لقد اشارت بعض الدراسات الى ان الجزء الاكثر تعرضا من السكان هم السكان الذين يتعرضون الى المترسبات على ضفاف الانهار قرب المواقع وان بعض السكان يحتمل ان يتسلموا جرعا مقدارها $1x10^{-9}$ سيفرت ولكن هذا النوع من التعرض يسبب جزءاً قليلا من الجرع المتجمعة الكلية.

3.4.6 تشغيل المحطات الكهرونووية (المفاعلات)

هنالك كثير من الدراسات التي اجريت حول تلوث البيئة بفعل تشغيل المفاعلات وقد دلت النتائج المستحصلة على ان من الصعب تحسس تلوث البيئة الاشعاعي بعيدا عن هذه المفاعلات. ان تقدير الجرع الاشعاعية للسكان يعتمد على نماذج لنظم انتقال المواد المشعة ولاهمية المفاعلات وانتشار استعمالها سواء لتوليد الطاقة او للبحوث فاننا سوف نتناولها بالتفصيل في هذا الفصل.

يؤدي تشغيل المفاعلات الى اطلاق مجاميع في النويدات المشعة الى البيئة ومن هذه المجاميع.

غازات الانشطار النبيلة

يتم تعرض السكان الناتج عن طرح الغازات النبيلة عن طريق التعرض الخارجي الى اشعة كاما واشعة بيتا كما ان مساهمة كل غاز من الغازات المشعة النبيلة في المجموع الكلي للجرع يختلف حسب نوع المفاعل وعلى سبيل المثال يكون مكافىء الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة الناتجة من مفاعل PWR 3.8×10^{-2} رجل ـ سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ حيث يعطي النظير المشع الزنون – 133 نحو 79% من الجرع ويكون الزنون – 135 مسؤولا عن نحو 12% منها بينما تكون مساهمة الكربتون – 88 نحو 4% اما مفاعلات BWR فان مكافىء الجرع المؤثرة المخصصة الناتجة من التعرض الى الغازات النبيلة المطلقة الى الجو يقدر بـ 1.8×10^{-2} رجل ـ سيفرت. ان النظير المشع الرئيس المساهم في هذا التعرض هو الكربتون – 88 الذي يساهم بخمسين بالمائة في حين تكون مساهمة النظائر الزنون – 135 والزنون – 138 والكربتون – 88 والزنون – 133 21% و 14% و 7% و 5% على التوالي.

غازات التنشيط

يتعلق الاهتمام الرئيس بغاز الاركون المشع – 41 وبسبب عمر النصف القصير له (1.83 ساعة) فانه يسبب تعرض السكان القاطنين على مسافة بضع عشرات من الكيلو مترات من الموقع.

تنتج المفاعلات المبردة بالغاز GCR هذا الغاز. ان الجرع المعدّلة الموزونة المخصصة (Weighed normalized dose commitment) معدلا لعدة سنوات يبلغ 9.6×10^{-2} رجل ـ سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ كما ان الكبريت المشع – 35 الذي يطلق من مفاعلات GCR يسبب جرعاً اشعاعية نتيجة تساقطه ودخوله الى الحليب الذي هو الطريق الاساسي لتعرض السكان عند تناولهم للحليب الملوث وتبلغ الجرع الناتجة 3.8×10^{-1} رجل ـ سيفرت لكل $[GW(e)a)^{-1}$

التريتيوم

يكون انتقال التريتيوم بين الجو والبيئة الارضية معقدا وذلك لدورة الهايدوجين في الانظمة الحيوية ويساهم التريتيوم المطلق الى البيئة في الجرع المتجمعةالمخصصة لانه ينتشر عالميا ويسبب التريتيوم التعرض بغدة طرائق هي الاستنشاق او عن طريق الامتصاص من الجلد او بواسطة شرب الماء او تناول الماء مع الاغذية.

ان الجرع المخصصة للسكان الناتجة عن تعرض عموم الجسم وكذلك المسببة من تناول واستنشاق التريتيوم تقدر بـ $10^{-2}x3.5$ رجل - سيفرت و $10^{-2}x8.1$ رجل - سيفرت و $10^{-1}x1.1$ رجل - سيفرت و 7.9 رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ لمفاعلات HWR, GCR, PWR, BWR على التوالي.

ويكون التناول عن طريق الجهاز الهضمي على ما يبدو اكثر اهمية اذ يبلغ نحو 6 اضعاف الجرع الناتجة عن الاستنشاق. اما التريتيوم المطروح الى البيئة المائية فانه يعطي جرعا مؤثرة متجمعة مخصصة مقدارها $10^{-3}x1.1$ رجل - غراي لكل $[GW(e)a]^{-1}$ لمفاعلات BWR و $10^{-3}x3.1$ رجل - غراي لمفاعلات PWR و 0.34 رجل - غراي لمفاعلات HWR

الكاربون - 14

وتمثل الجرع المتجمعة للسكان الناتجة من اطلاق الكاربون - 14 من المفاعلات جزءاً صغيراً فقط من مجموع الجزع المخصصة.

وتأتي الاهمية الرئيسة للكاربون - 14 من خلال دخوله الى دورة الكاربون (Carbon cycle) الذي ينتج عنها انتشاره عالمياويكافئ الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة المعدلة الموزونة بتوليد الطاقة الكهربائية يبلغ 2.4 رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$

اليود

يكون اطلاق اليود المشع من محطات توليد القوى النووية قليلا لذلك فهو يساهم قليلا في مجموع الجرع المتجمعة المخصصة للمناطق المحيطة بالمنشآت النووية والمناطق الابعد منها واليود - 129 يدخل الى الدورة العالمية لليود ويشعع سكان العالم بصورة ملموسة لعدة ملايين من السنين. اما اطلاق اليود - 131 فانه يساهم فقط في الجرع الاشعاعية المحلية وللمناطق القريبة ومكافىء الجرع الاشعاعية المتجمعة المؤثرة المخصصة الناتجة من اطلاق اليود من مفاعلات PWR قدر بـ 6.6×10^{-4} رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ وان الجرع المتجمعة للغدة الدرقية هي 2.1×10^{-2} رجل غراي. ان اكثر مكونات الجرع الناتجة تأتي عن طريق الاستنشاق وكذلك الجهاز الهضمي حيث تسبب الجرع نتيجة لتناول الحليب. اما في حالة مفاعلات BWR فان مكافىء الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة يبلغ 1.9×10^{-2} رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ وان الجرع المتجمعة للغدة الدرقية يبلغ 5.9×10^{-1} رجل - سيفرت. ان الطريق الاساسي للتعرض لليود - 131 واليود - 135 هو التنفس.

الجسيمات

تعتمد كمية الفعالية التي في الجسيمات المطلقة على انواع المفاعلات وعلى المفاعلات نفسها من سنة الى سنة اخرى. وهي اما ان تطلق الى الجو او الى البيئة المائية.

يبلغ مكافىء الجرع المتجمعة المخصصة لوحدة الطاقة الكهربائية المتولدة الناتجة من مفاعلات PWR 2.1×10^{-2} رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ و 2.9×10^{-1} رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ لمفاعلات BWR

ان اعلى مكافىء جرعة للاعضاء يتسلم من قبل سطح العظام او الغضاريف. اما مفاعلات GCR فأنها تشابه مفاعلات PWR وتكون الجرع لمفاعلات HWR اقل.

ان معظم هذه الجرع تنشأ عن الجرع الخارجية وتلك الناتجة عن طريق الجهاز الهضمي ومن الفعالية المتساقطة على الارض. ان المساهمة الكبرى للجرع الناتجة من المتساقطات على الارض هي السيزيوم - 137 والكوبلت - 60 حيث تعطي نحو 80% وان معظم الجرع الباقية تأتي من السيزيوم - 134 والمنغنيز - 54.

ان توزيع الجرع يكون متساويا على الجسم واعضائه لانه ينتج عن اشعة كاما النفاذة وان 95% من الجرع المتسلمة تكون خلال الخمسين سنة الاولى بعد السقوط على الارض. ان النويدات المشعة التي تساهم باعطاء الجرع في محاصيل الحبوب هي السيزيوم - 137 حيث تعطي نحو 30% من الجرع والسيزيوم -134 الذي يساهم بـ 30% والكوبلت - 60 الذي يساهم بـ 5% اما الخضروات الخضراء والجذرية فأن 80% من الجرع المخصصة تأتي من السنترونتيوم - 90 والباقي من السيزيوم - 137 ويتساوى السنترونتيوم - 90 ونظائر السيزيوم - 134 والسيزيوم - 137 باعطاء الجرع المخصصة في لحوم الابقار. اما مفاعلات PWR فان نفس النظائر المشغة وطرائق الانتقال تكون مهمة ويكون مكافىء الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة يساوي $2.9x10^{-1}$ man Sv [GW(e)à]$^{-1}$ وبهذا تصبح النتائج المعدلة لجميع المفاعلات $1.1x10^{-1}$ man Sv [G[GW](e)a]$^{-1}$ وتبلغ الجرع الفردية 10^{-9}x1 سيفرت في السنة لمفاعلات BWR على مسافة 1- كيلو متر واحد وتكون الجرع الناتجة من مفاعلات PWR اقل من ذلك بعشر مرات.

النفايات المشعة السائلة

يتم اطلاق النويدات المشعة في المياه العذبة عن طريق الانهار او البحيرات عادة كما ان طرائق الانتقال الى البشر تتم عن طريق شرب الماء واكل السمك والسقي الذي يؤدى الى تلوث المواد الغذائية والتعرض

الخارجي الناتج عن الرواسب. اما الطرح في البيئة البحرية فأنه يكفي الاخذ بنظر الاعتبار تناول الاغذية التي تشمل اسماك المحيطات والقشريات وهناك طرائق انتقال اخرى مثل السباحة في المياه الملوثة واستهلاك المواد الغذائية غير الاعتيادية ولكن مساهمة هذه الطرائق تكون قليلة بتكوين الجـرع المتجمعة المخصصة.

ان الجرع المتجمعة المخصصة للمطروح المعدل الى وسط المياه العذبة لمفاعلات BWR يقدر بـ 2.8×10^{-3} رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ وتؤلف مياه الشرب ثلثي هذه الجرع ويأتي الباقي من تناول الاسماك. اما شرب الماء فأن 20% من الجرع المؤثرة المخصصة يأتي من اليود - 131 وان جميع الجرع الناتجة من الهضم تأتي من نظائر السيزيوم تقريبا اما مفاعلات PWR فأن مجموع مكافىء الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة هو 1×10^{-3} رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ حيث يشكل شرب الماء نحو 78% من الجرع المتجمعة. ان المساهمة من شرب الماء تأتي بصورة متساوية من اليود - 131 والكوبلت - 60 والسيزيوم - 134 والسيزيوم - 137 اما الغذاء فان نظائر السيزيوم تغـطي اكثر من ثلثي مجمـوع الجرع المتجمعـة المخصصة البـالغة 1.8×10^{-1} رجل - سيفرت لكل $[GW)e)a]^{-1}$ اما مفاعلات BWR فان الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة تقدر بـ 4.2×10^{-2} رجل - سيفـرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ وتأتي بالدرجة الاولى من الزنك - 65 الذي في الرخويات اما الباقي فأنه يأتي من السمك حيث يكون السيزيوم كذلك مسؤولا عن معظم الجرع اضافة الى الزنك - 65.

ان مكافىء الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة المعدلة الموزونة فيما يخص الطاقة الكهربائية المتولدة لكل نوع من انواع المفاعلات يقدر بـ 3.6×10^{-2} رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ وتبلغ الجرع الناتجة بسبب الطرح في البيئة المائية 1.9×10^{-3} رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$.

4.4.6 استخلاص الوقود النووي لتوليد الطاقة الكهربائية

يتطلب تقدير الجرع المتجمعة المخصصة الناتجة من منشآت استخلاص الوقود دراسة التأثيرات المحلية للمناطق وكذلك المترتبات العالمية للنفايات المطروحة التي تشمل الكربتون – 88 الذي يسبب مكافىء جرع مؤثرة متجمعة مخصصة تقدر 0.074 رجل ـ سيفرت نتيجة التشعيع باشعة كاما التي في الغيمة وقد يسبب التشعيع باشعة بيتا من الغيمة جرعا اشعاعية مقدارها 19 رجل ـ سيفرت اضافية بصفة جرع متجمعة للجلد وكذلك التريتيوم المطلق الى الجو الذي يؤدي الى جرع متجمعة مؤثرة مخصصة مقدارها 0.35 رجل ـ سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ ويسبب الطرح الى البيئة المائية جرعا مخصصة اقل من ذلك تبلغ $8.2x10^{-4}$ رجل ـ سيفرت لكل $(GW(e)a]^{-1}$. اما الكاربون – 14 المطلق فأن مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة المخصصة يبلغ نحو 0.69 رجل ـ سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ مطلق الى الجو.

5.6 خزن وردم النفايات المشعة الناتجة من توليد الطاقة الكهرونووية

ان طرح النفايات المشعة العالية النشاط الاشعاعي من محطات القوى النووية لم يتم لحد الان حيث انه يوجد خزين مراقب فقط من قبل سلطات البلدان المختلفة بانتظار قرار نهائي بالمعاملة ولهذا فان التقديرات هي توقعات للجرع المتجمعة المخصصة المحتملة الناتجة عن ردم النفايات العالية النشاط الاشعاعي بالاستناد الى دراسات نظرية حول الطرح الى المياه العذبة والبيئة البحرية.

6.6 المساهمات الاخرى

تساهم الفعاليات الاخرى المتعلقة بانتاج الطاقة الكهرونووية في الجرع المتجمعة المخصصة الناتجة من استخدام الطاقة النووية وهي نقل الوقود النووي المشعع وتشغيل منشآت البحوث النووية.

1.6.6 النقل

من الممكن اجراء الحسابات باستعمال توزيع الجرع بصفة دالة على المسافة بين حاوية الوقود المشعع والكثافة السكانية على طول الطريق المستعمل في النقل وعلى مسافة مقدارها كيلو متر واحد من الطريق.

كما ان تقديرات مكافىء الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة الناتجة عن نقل الوقود المشعع تتراوح بين 10^{-3}x1 رجل - سيفرت لكل $[GW(e)a]^{-1}$ الى 10^{-2}x1 رجل - سيفرت لكل $(GW(e)a]^{-1}$ وهذا لا يشمل اية مساهمة نتيجة حادثة للحاوية التي قد تؤدي الى تعرض السكان للاشعاع.

2.6.6 منشآت البحوث النووية

تبدل الجرع الاشعاعية لعدد من مراكز البحوث النووية على ان الجرع المتجمعة تتراوح بين 10^{-3}x1 رجل - سيفرت و2 رجل - سيفرت في السنة. ان نحو نصف هذه الجرع الاشعاعية كان بسبب التريتيوم ونحو ثلثها ينتج من الاركون - 41 ومما لا شك فيه ان ذلك يعتمد كثيرا على نوع البحوث الجارية.

والخلاصة ان مساهمة كل حلقة من حلقات انتاج الطاقة الكهرونووية موضحة في الجدول 2.6 الذي يمثل صيغة معدلة لوحدة الكهربائية الناتجة. كما ان مكافىء الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة قد ادخلت في الجدول وبهذا

يمكن استخلاص تقديرات الاضرار الصحية باستعمال النماذج الحسابية. ان المواد المشعة المطروحة خلال مراحل التشغيل ما عدا ردم النفايات تعطي مكافىء جرع مؤثرة متجمعة مخصصة مقدارها 5.4 man Sv $[GW(e)a]^{-1}$. ان 90% من هذه الجرع تسلم في السنة التي يتم فيها طرح النفايات المشعة و 98% من الجرع تسلم خلال 5 سنوات من طرح النفايات المشعة.

الجدول 2.5 مختصر عن مكافىء الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة المعدلة الى السكان الناتجة عن انتاج الطاقة الكهربائية النووية

المساهم المحلي وللمناطق	مكافىء الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة (man Sv $[GW(e)a]^{-1}$)	
التعدين		
الرادون	0.56	
الطحن		
اليورانيوم والثوريوم والراديوم ما عدا البقايا	0.12	
الرادون	0.025	
تصنيع الوقود اليورانيوم	0.0005	
المطروح من المفاعلات الجو		
الغازات النبيلة	0.61	
التريتيوم	0.51	
نظائر اليود	0.06	
الكاربون – 14	2.4	
الجسيمات المشعة Cs, RU, Co	0.1	المجموع 3.7
المائية		
التريتيوم	0.03	
الاخرى (السيزيوم RU والكوبلت)	0.02	المجموع 0.05
استخلاص الوقود		
الجوية		
تريتيوم	0.1	
الكربتون – 85	0.03	
الكاربون – 14	0.2	
مطلقات الفا	0.02	المجموع 0.33

المصدر UNSCEAR (1982) 127

اما النويدات المشعة الطويلة العمر والتي تنتشر عالميا فان مكافىء الجرع المؤثرة المخصصة غيرالكاملة يعطي دلالة على التوزيع الزمني لهذه الجرع المخصصة وكذلك من الممكن استعمالها لاشتقاق الحدود السنوية العليا المكافىء الجرع (Maximum annual per caput dose equivalents)

بواسطة تقسيم متوسط حجم السكان (Mean population size) بافتراض ان انتاج القوة الكهربائية بواسطة الطاقة النووية يستمر خلال الفترة التكاملية المختارة وان معدلات المواد المشعة المطروحة تبقى ثابتة.

يكون مكافىء الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة الناتجة عن الأنتشار العالمي للمواد النووية المطروحة خلال عمليات توليد الطاقة هو 770 man Sv $[GW(e)a]^{-1}$ حيث يعطي 90% منها في فترات زمنية تتراوح بين 10^4x1 سنة الى 10^8x1 سنة بعد الطرح. كما ان القيمة غير الكاملة لخمسمائة سنة التي تؤخذ على انها الفترة الزمنية التي يستمر فيها انتاج الطاقة الكهربائية من قوة الانشطار هي 18 man Sv $[GW(e)a]^{-1}$ واذا استعمل هذا الرقم لاشتقاق الجرع الى شخص نظري مفترض (Per caput dose) فانه يكون مقاربا الى القيمة المستحصلة من الجرع المخصصة المحلية وللمناطق. ان محاولة تخمين الجرع الاشعاعية المستقبلية يجب ان تتم بحذر حيث ان الاتجاه السائد الان والذي بدأ منذ بضع سنوات مضت هو تخفيض المواد المشعة المطروحة من المفاعلات على الرغم من القوة الكهربائية الناتجة للمحطات الذي يرجع بالدرجة الاولى الى تحسين تقنية السيطرة من ناحية والى استنباط افكار جديدة في الوقاية من الاشعاع.

والجرع المتجمعة الناتجة من الانتشار العالمي للنويدات المشعة قد لا تكون ممثلة للحالة المستقبلية. مثال على ذلك في المفاعل النموذج ومنشآت استخلاص الوقود المفروضة في هذا الكتاب قد فرضت على ان النويدات المشعة الطويلة العمر كالكربتون – 85 والكاربون – 14 تطلق الى الجو دون معاملة بينما الاتجاه الحالي الان هو حصرهم في حاويات او ايقاف حركتهم

واخيرا فانه عند تمديد المقياس الى الاف وملايين السنين (immobilization) في المستقبل فانه يصعب جدا تقدير حجم السكان وطرائق تغذيتهم والعادات الاخرى بحيث ان تقدير الجرع المتجمعة المخصصة العالمية يجب ان يعتبر تصورياً الى درجة كبيرة. ان النتائج العالمية تدل على ان اكثر مساهم الى الجرع المتجمعة المؤثرة المخصصة هو بقايا التعدين والطحن لليورانيوم. ان الجرع المخصصة غير الكاملة تكون اقل بالمقارنة وتعتمد بصورة كاملة على كمية المادة المغطية للبقايا المفروضة وعلى الزمن الذي يسبق انتقالها اما الى الاسفل في الارض بحيث تصبح غير متوفرة او ان تتآكل وتذهب الى البيئة المائية. كما ان البقايا اذا استعملت في صنع الاسفلت والـ PVC فانها سوف تصبح غير قابلة للحركة ومن الممكن خفض كمية الرادون المنبعثة الى المستويات الطبيعية بحيث تكون اضافتها الى الجرع المخصصة مساوية للصفر وبنفس الوقت فأن حركة الثريوم واليورانيوم الى داخل الارض بسرعة متر واحد في 500 سنة سوف يؤدي الى جرع مخصصة مقدارها 30 man Sv $[GW(e)a]^{-1}$

وبالافتراض ان البقايا تتآكل وتذهب الى البيئة المائية فان ذلك يؤدي الى مكافىء جرع متجمعة مؤثرة مخصصة مقدارها 460 man Sv $[GW(e)a]^{-1}$ ويكون البولونيوم - 210 76% منها وتعتمد النتائج على خواص الموقع المحلية الى درجة كبيرة وان الرقم المعطى هنا يكون مشكوكا فيه بمقدار عشرة اضعاف الكمية واخيرا فأنه يجب معرفة بأن اي قرار لاستعمال مفاعلات التوليد السريع باستغلال مصادر اليورانيوم بصورة اكفأ سوف يؤدي الى خفض الجرع المتجمعة المخصصة لكل GW(e)a من بقايا اليورانيوم بمرتبتين للقيمة ولغرض تقدير الجرع العظمى للفرد المفترض (Maximum per caput) في المستقبل نتيجة انتاج الطاقة الكهرونووية فان الجرع المتجمعة المخصصة غير الكاملة يجب ان تستعمل.

كما ان المواد المشعة المطروحة خلال فترة التشغيل لمنشآت توليد الطاقة الكهرونووية تؤدي الى جرع مخصصة محلية وللمناطق مقدارها 5.4 man Sv$[GW(e)a]^{-1}$ حيث يتسلم 98% منها خلال السنوات القليلة التي تلي

طرحها اما الاثنان بالمائة الباقية من الجرع المخصصة فانها تتسلم خلال عقدين او ثلاثة عقود بعد طرح المواد المشعة. وتبلغ الجرع المتجمعة المخصصة غير الكاملة للنويدات المشعة التي تنتشر عالميا 18 man Sv $[GW(e)a]^{-1}$. ان اختيار فترة الـ 500 سنة هنا يتعلق بالفترة الزمنية التي يستمر انتاج الطاقة فيها حيث ان هذه القيمة هي متوسط الفترة التي تنتج فيها الطاقة بواسطة مفاعلات الانشطار لغرض تقدير الجرع القصوى للافراد يدل بصورة اساسية على استعمال مفاعلات الانتاج السريع

وتبلغ الجرع المتجمعة المخصصة غير الكاملة للتعدين والطحن استنادا الى الخبره 2.5 man Sv $[GW(e)a]^{-1}$ لمائة سنة وهي اكثر ملائمة لتقدير الجرع القصوى الفردية حيث ان معدل التعدين سوف ينخفض باستعمال مفاعلات الانتاج السريع اما بقايا الطحن فأن الجرع المخصصة لفترة 100 سنة تعكس فقط طرح الرادون مما يعطي جرعا لا تتجاوز 2.8 man Sv وبهذا فان الجرع الفردية القصوى الناتجة عن توليد الطاقة الكهرونووية سوف تكون نحو 26 man Sv وعند تقسيم هذه الجرعة على عدد سكان العالم الذي يفترض انه $10^{10}x1$ شخص فانه ينتج $10^{-9}x2.6$ سيفرت في السنة لكل GW من الطاقة الكهربائية الناتجة وعلى فرض ان انتاج الطاقة النووية سوف يستمر لمدة 500 سنة وان المواد المشعة المطروحة الى البيئة تبقى كما هي عليه الان.

وتكون الجرع المتجمعة المخصصة الناتجة من بقايا المناجم ومن ردم النفايات المشعة وكذلك تلك الجرع الناتجة من الانتشار العالمي للنويدات المشعة ذات العمر الطويل مثل الكاربون - 14 واليود - 129 مشكوكا فيها بالضرورة لصعوبة التنبؤ بالطرائق المستقبلية وحجم السكان وعاداتهم وطرائق الانتقال البيئية وعلى التمثيل في جسم الانسان وفي الوقت الحاضر فان التقدير يكون $4x10^{3}$ man Sv $[GW(e)a]^{-1}$ يتسلم بالدرجة الاولى من فترة زمنية تبدأ بعد $10^{5}x1$ سنة من الان.

ان الارقام المعطاة يجب ان لا يستند اليها بصورة مطلقة للتخطيط المستقبلي ولذا يجب القيام ببحوث اكثر لغرض حساب الجرع المخصصة غير التكاملية .

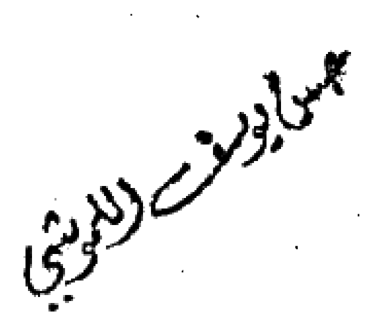
****



الفصل السابع

التعرض المهني للاشعاع

Occupational Exposure to Radiation





الفصل السابع
التعرض المهني للاشعاع

في الفصل السادس تعرضنا الى الاشعاع والجرع الاشعاعية الناتجة عن تعرض السكان الى مصادر الاشعاع المختلفة وان هذا الفصل سوف يتناول تعرض العاملين في حقول الاشعاع الذين يكون تعرضهم نتيجة الاعمال التي يقومون بها.

ان الغرض الاساسي من دراسة التعرض الوظيفي للاشعاع هو تنظيم طريقة حساب تراكم الجرع للافراد. وان المعلومات تستعمل كذلك للدلالة على اتباع حدود التعرض المهني. ان المعلومات المستقاة قد تستعمل لعدة اغراض منها الى اية درجة خفضت الجرع للوصول الى اقل جرعة ممكنة منطقياً (As Low as reasonably achievable).

ان تقدير الجرع المتجمعة السنوية والجرع المتجمعة جراء عمل معين قد يعطي دلالة على الاضرار الصحية الناتجة عن الاشعاع لكل ممارسة او عمل معين. كما انه من الممكن استخدام المعلومات لغرض المقارنة مثلا لمساهمة فروع الصناعة في مجموع الاضرار الصحية الناتجة عن الاشعاع (Radiation induced detriments) ويؤدي تقدير متوسط مستوى الجرع لكل نوع من انواع العمل وللمجاميع الثانوية من العاملين الى تقدير مستوى الخطورة بالاضافة الى ان توزيع الجرع على القوى العاملة في حقول الاشعاع يؤدي الى مقارنة هذا المستوى للافراد جراء العمل في حقول الاشعاع المختلفة بالاضافة الى مقارنة ذلك للمهن التي لا يحدث فيها تعرض للاشعاع.

ومن الممكن استعمال معلومات مستحصلة من عدة سنوات لمعرفة متوسط الجرع وتوزيع الجرع والجرع المتجمعة من الصناعات الكاملة او طرائق العمل الكاملة او اجزاء منها ومن الممكن استخدام المعلومات الناتجة للاشارة الى ما اذا كان اتجاه الجرع له علاقة مع الزمن او عمر المنشأة ومع التغييرات التقنية للمنشأة او المعمل او في ادارة العاملين او بتوسيع العمل او لاية اسباب اخرى.

كما انه من الممكن استخدام التعرض الوظيفي بصفة معلومات داخلة (input) لاجراء الدراسات حول نشوء الامراض (Epidemiological studies)

1.7 تحليل الجرع المهنية

(Analysis of occupational doses)

من الضروري تثبيت العلاقة بين القياسات التي تجري في مجال الاشعاع بواسطة افلام قياس مستوى الاشعاع او عدادات الوميض الحرارية وبقية اجهزة قياس الجرع الاشعاعية الشخصية والجرع الممتصة في انسجة واعضاء الجسم وتستعمل لذلك ثوابت معقولة مع اشعة كاما والاشعة السينية عالية الطاقة التي لا تكون محجوزة بدرع نسبي وذلك لانها لا تغطي جرعا ممتصة متغيرة خلال الجسم اما المجالات الاشعاعية الفراغية المتغيرة (Spatially variable radiation fields) مثل توفر الحماية الجزئية والاختلافات الكبيرة جدا في مسافات اعضاء الجسم عن المصدر والحالات المماثلة الاخرى فأن العلاقة تكون اكثر تعقيدا وهنالك مشاكل خاصة لكل تعرض كوضعية الجسم بالنسبة للمصدر.

ان السيطرة على الجرع الفردية يتطلب معرفة مكافىء الجرع المؤثرة الذي يجب ان يحصل عليه بتقدير الجرع الاشعاعية للاعضاء والانسجة المفردة وان هذا الامر لا يتم عادة لعدم توفر المعلومات الكافية عن خواص المجال الاشعاعي. ان حاملات المراقبة (Monitoring badges) لا تصمم عادة لتوفير معلومات اساسية مثل طاقة ونوع الاشعاع وهي المعلومات التي يتم بواسطتها حساب الجرع العميقة (Depth dose calculations) وفي حالة التعرض غير المنتظم للجسم فانه نادرا ما تكون هناك معلومات كافية من اجهزة المراقبة للدلالة على المقدار الفراغي (Spatial extent) وتنوع المجال الاشعاعي بدرجة جيدة لغرض تقدير الجرع للاعضاء وللانسجة. ان هذه الدراسات تتم عادة باستخدام الاجسام الشبحية (Phantoms) التي تعرض باوضاع مختلفة الى طاقات متعددة من الاشعاع ويحسب منها جرع الاعضاء ومكافىء الجرع المؤثرة.

ان مقاييس الاشعاع تدل بصورة عامة على الجرع الممتصة على سطح الجسم اي على معدلها على عمق قليل تحت الطبقة السطحية الخفيفة بالاضافة الى دلالتها على الجرع الممتصة على مسافة عميقة من النسيج. ان هاتين الجرعتين المقيستين تفسر عادة على انها جرعة الجلد (Skin dose) وجرعة عموم الجسم (Whole body dose).

تستعمل في بعض الاحيان مقاييس اشعاعية لغرض معين كمقياس الجرع لاطراف الاصابع والايدي والاقدام. ان هذه النتائج تلاحظ عادة في سجلات الجرع الشخصية وربما تستعمل للمقارنة مع الحدود الموضوعة لتعرض الاطراف. ان الجرع النيوترونية يجري تسجيلها بواسطة حاملات خاصة مختلفة الانواع وتلائم بصورة عامة طيف طاقة النيوترونات الذي يتعرض له.

ان مستويات التلوث الداخلي لبعض النويدات المشعة يمكن حسابه باستعمال المراقبة البايولوجية (Biological monitoring) ومثال على ذلك التريتيوم بينما يكون ذلك من الصعب جدا لنويدات مشعة اخرى مثل البلوتونيوم – 239 وخاصة بعد وقت طويل من دخولها الجسم او عند دخولها الى الجسم عدة مرات.

لقد كانت هذه الحسابات تجري بالنسبة للتلوث الداخلي بوصفها جزءاً من الحد الاعلى الذي يتحمله الجسم (Maximum permissible body burden) ولقد كانت نتائج المراقبة توضح بهذا المصطلح وعندما غيرت الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع (ICRP) المصطلح الى الحدود السنوية للتناول فانه من المحتمل ان يكون هناك تغيير مواز لمحاولة تقدير ونشر تقارير حول المتناول سنويا والجرع المخصصة.

ان احدى الصعوبات عند تجميع المعلومات الاحصائية هي ان مستويات التلوث الداخلي المنشورة تكون مختلفة بصورة واسعة.

ان جميع الارقام للنتائج المنشورة لخدمات المراقبة تمثل معدل الجرع الممتصة (Averaged absorbed dose) في عموم الجسم والتي تكاد تمثل دائما القراءات المأخوذة بواسطة مقاييس الاشعاع دون الاخذ بنظر الاعتبار علاقتها بالجرع الممتصة في الجسم.

ان هذا الاجراء يعد لحد الان مقبولا حيث ان معظم المعلومات المنشورة تتعلق بالتعرض الخارجي لعموم الجسم الى الاشعة المؤينة ذات الطاقة العالية وفي الحالات التي لا يكون فيها تعرض الجسم الى الاشعاع منتظما وخاصة في المهن الطبية فانه قد يكون مضللا ايجاد متوسط الجرعة لعدة انواع من العمل حيث ان العلاقة بين قراءة مقياس الجرع ومتوسط الجرع الممتصة لعموم الجسم سوف لا تكون ثابتة.

1.1.7 طريقة المراقبة وتسجيل الجرع

ان عدد العاملين المعرضين الى مستويات مختلفة من المراقبة هو انعكاس لقرارات ادارة المنشأة النووية والجهات المراقبة لتنفيذ التعليمات حول احتمالية التعرض الى مستويات مختلفة ولهذا فانها لا تكون متماثلة في صناعة معينة او بلد معين.

ان وصايا الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع تنص على انه عندما تكون احتمالية تجاوز الجرع السنوية لثلاثة اعشار الجرع القصوى المسموح بها ضئيلة جدا فانه ليس من الضروري القيام بالمراقبة الفردية (Individual monitoring) بالرغم من ان هذه المراقبة الفردية تجري في بعض الاحيان بوصفها طريقة تثبت ان ظروف العمل مرضية ومع ذلك فان السهولة النسبية في اجراء المراقبة او الكلفة القليلة وحساسية الاداة لمراقبة التعرض الخارجي للاشعاع يجعلها تستعمل بصورة اوسع كثيرا عما هو متوقع نتيجة تطبيق توصية

الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع. وعندما يتم تجهيز هذه الاداة (افلام قياس مستوى الاشعاع) فان الجرع الناتجة تسجيل بالرغم من ان توصية الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP) تنص على ان مستوى التسجيل هو 1/10 من حدود الجرع القصوى السنوية.

هنالك بعض التضارب في معاملة الاشعاع الداخلي والخارجي الذي ربما يكون بسبب ان مراقبة التشعيع الداخلي يكون عالي الكلفة وغير حساس وبهذا يلجأ اليه في الحالات التي تكون هناك حاجة فعلية واضحة له. ان الجرع الداخلية غالبا ما تقدر بصورة غير مباشرة بواسطة مراقبة تركيز الفعالية في الهواء ولكن نتيجة هذه المراقبة لا يتم نقلها دائما الى السجلات الفردية للجرع. وهنالك صعوبات تتعلق بتحديد عدد العاملين مما يؤدي الى فروقات في متوسط الجرع الموثقة ومن الواجب ايضاح ما اذا كانت المعلومات تشمل جميع العاملين الخاضعين للمراقبة وفي حالة اختيار بعض العاملين فقط للمراقبة عندئذ يجب تثبيت السبب في اختيارهم للمراقبة وكيفية القيام بعملية تقدير الجرع للعاملين غير المراقبين.

ان من المفروض طرح الخلفية الطبيعية للاشعاع من النتائج الموثقة وان الجرع الطبية غير مشمولة في النتائج وهنالك بعض الاختلافات في اساليب توثيق قراءات مقاييس الاشعاع. اذ ان من الممكن ادخال القراءات الواطئة كاصفار او الحدود الدنيا.

الجرع المفترضة (Notional doses)

عندما تفقد مقاييس الجرع او تكون قراءاتها غير متوفرة فان طريقة مقبولة للخضوع لمتطلبات الاحكام والقانون في عدد من الدول هي الافتراض ان الاشخاص قد تعرضوا الى الحدود القصوى للجرع المسموح بها خلال الفترة التي فقدت فيها النتائج ومع هذا فان هذا الاسلوب يؤدي الى تحريف السجلات وخاصة في حالة ضياع عدد كبير من مقاييس الجرع والذي يضم

مجموعة مهنية معينة ولهذا فانه من الضروري جدا توثيق الجرع والاشارة الى الجرع النظرية المقررة. ان الاسلوب المتبع هو الرجوع الى الجرع المحسوبة من متوسط الجرع لبقية السنة لكل فرد وتسجيل الجرع بهذه الطريقة.

3.1.7 خواص توزيع الجرع

لا يعتبر توزيع الجرع من الظواهر الطبيعية ولكنها تكون نتيجة لعدد من العوائق المفروضة بواسطة طبيعة العمل نفسه او بادارة المنشأة او بالعاملين في حقول الاشعاع او بالتشريعات وفي بعض انواع الاعمال فانه قد لا يكون ضروريا للعاملين تسلم اكثر من جرع اشعاعية واطئة جدا وفي بعض الاعمال فان العاملين يتعرضون الى جرع اشعاعية عالية بصورة شبه روتينية ولهذه المجموعة فان الادارة تستطيع تخفيض الجرع في بعض الاحيان بقرار منها ولكن ما لم تغير نوعية العمل او ظروفه فان عددا اكثر من العاملين سوف يلزم للقيام بالعمل وبذلك تزداد الجرع المتجمعة بصورة عامة.

من الممكن وصف توزيع الجرع بثلاث طرائق هي :

متوسط الجرع السنوية (Annual average dose)

ويرمز لها $\bar{D}$ وهي ذات علاقة بالمستوى العام للخطورة الفردية وتحسب هذه الكمية لجميع الافراد الذين روقبوا لمجموعة مهنية معينة.

الجرع المتجمعة السنوية (Annual Collective dose)

ويرمز لها بالحرف G وهي تتعلق بالتأثير الكلي للممارسة (Total impact)

نسبة الجرع السنوية المتسلمة

ويرمز لها بالحرف GR وهي الجرع الفردية السنوية التي تتجاوز 15 ملغراي وتكون لها علاقةبنسبة العاملين المعرضين الى مستويات اعلى للخطورة الفردية ومن الممكن الحصول على الخواص لاي شكل من اشكال توزيع الجرع فيما اذا كانت تتمتع باستجابة لوغارتم - اعتيادي ام لم تكن كذلك في بعض اجزاء مجال الجرع. ان هذه الخواص يحصل عليها من المعلومات الاساسية المفصلة لنتائج مقياس الجرع وتكون من ضمن التقارير الموثقة كلما كان ذلك ممكن.

ان الجرع المتجمعة السنوية G تعرف بالمعادلة

$$G = \sum_{i=1}^{N} Di \quad .... (7.1)$$

حيث تمثل N العدد الكلي للعاملين و Di هي الجرع الممتصة السنوية المتسلمة من قبل العامل i (ith worker) في الممارسة وهي تحسب غالبا من نتائج مقياس الجرع المقارنة (Collated dosimetry). باستعمال المعادلة المرادفة

$$G = \sum_{0}^{\infty} Ni\, \bar{D}i \quad ..... (7.2)$$

حيث تمثل Ni عدد الافراد في المجال ith من الجرع الممتصة التي يكون متوسطها السنوي $\bar{D}i$. ان عدد المجالات يجب ان يكون كافيا للتأكد من ان قيمة $\bar{D}i$ تمثل المعدل بصورة معقولة. وفي بعض الظروف ولانه بصورة عامة يكون انحرافا باتجاه الجرع الواطئة فيكون استعمال مثل هذه المعادلة مؤديا الى المبالغة في التقدير للجرع المتجمعة. ان المبالغة في التقدير لمجال جرع مثالي تكون اقل من 10%

ان متوسط الجرع الممتصة السنوية $\bar{D}$ يعطي بالمعادلة

$$\bar{D} = \frac{G}{} \quad .... (7.3)$$

حيث يمثل N عدد العاملين الذين خضعوا للمراقبة.

ان نسبة توزيع الجرع المتجمعة السنوية GR يعرف بالمعادلة

$$GR = \frac{G(715)}{G} \quad .... (7.14)$$

حيث يكون G (715) الجرع الممتصة المتجمعة السنوية المتسلمة بجرع فردية سنوية تتجاوز 15 mGy ان هذه الكمية يجب ان تحسب اذا كان ذلك ممكنا من جمع الجرع الفردية.

ان المجال الاعتيادي (Normal range) المعطى الذي يكون بعض توزيع الجرع اعلى منه او اقل منه من الممكن ان يستعمل في القرارات المتعلقة باستعمال مقاييس الجرع او اسباب التعرض.ان المجالات الاعتيادية المستعملة هنا هي تراوح الجرع الممتصة السنوية ($\bar{D}$) من واحد الى 10m Gy وان نسبة توزيع الجرع المتجمعة السنوية (GR) تتراوح بين 0.05 الى 0.5 ملغراي (mGy)

4.1.7 التوزيع المصدري (Reference distribution)

ان خواص التوزيع المصدري هي الاتي:

1 ـ ان توزيع الجرع السنوية يكون لوغارتمياً ـ اعتيادياً .

2 ـ ان متوسط توزيع الجرع السنوية يبلغ 5 mGy .

3 ـ ان نسبة العاملين الذين يتجاوزون الجرع السنوية التي مقادرها 50 mGy يبلغ 0.1% .

ان التوزيع المصدري هنا لا يمثل غاية يراد ادراكها ولا هو بالتوزيع المثالي للجرع ولا يجب ان يفسر كذلك. ان هذا التوزيع قد اعطي فقط لكي يكون اساسا لعملية المقارنة حيث ان المعاملات الداخلة فيه هي معاملات اصطناعية (Artifact) . ان هذا التوزيع المصدري اضافة الى المجال الملاحظ للتوزيع يستعمل لغرض الحصول على مجال طبيعي للمعاملات التي تهمنا في

توزيع الجرع. ان احد هذه المعاملات وهو نسبة الجرع المتجمعة المتسلمة بجرع سنوية فردية مقدارها 15 mGy قد جرى تعديله فيما يخص التوزيع المصدري.

وقد يحدث هناك بعض الخطأ في عملية التعديل (Normalization Procedure)

5.1.7 توقعات الجرع لكل العمر

(Lifetime dose predictions)

ان من الممكن تمديد القياس لغرض توقع جرع العمر لبعض المجاميع من العاملين الذين تتوفر معلومات حول متوسط الجرع لهم وعدد سنوات خدمتهم. ان من الممكن اجراء بعض الدراسات حول العلاقة بين سرعة تراكم الجرع اثناء سنوات الخدمة للاشخاص وبين مجموع الجرع المتسلمة في الخدمة. ان هذه الدراسات تتطلب مراعاة ما اذا كانت الجرع العالية تتسلم بصورة عشوائية خلال مجموعة من العاملين او بصورة مستمرة لنفس الاشخاص في كل سنة. وما اذا كان للعاملين خاصية البقاء في المهن ذات الجرع الاشعاعية العالية لفترات طويلة او انهم يتحولون الى مهن بجرع اقل بتقدم العمر او ما اذا كان العكس يحدث ولعله من المفيد كذلك دراسة العلاقة بين المتوقع المستند الى السجلات للسنوات الماضية باستعمال فرضيات متعددة ومجاميع جرع مختلفة.

ان هذه الجرع حسب طبيعتها تتعامل مع جرع فعلية الى الاشخاص وهذه تجرى فقط من قبل المسؤولين الذين يستطيعون الوصول الى سجلات الجرع الفردية. ان مثل هذا النوع من الدراسات يجب ان يشجع مع الاخذ بنظر الاعتبار الحفاظ على خصوصية سجلات الافراد عن طريق النشر في اطار مجهول مناسب.

2.7 الاستعمال الطبي للاشعاع

من الممكن تقسيم حقل الاستعمال الطبي للاشعاع الى صنفين هما التشخيص بالاشعة (Diagnostic radiology) والاستعمال العلاجي للاشعاع (Theraputic use of radiation) انّ الاختلاف بينهما هو ان الهدف من التشخيص بالاشعة هو استعمال اقل تعرض الى الاشعاع للمفحوصين والعاملين في الحقل الطبي لغرض الحصول على المعلومات المطلوبة اما المعالجة فان الغرض منها هو اعطاء المريض جرعا اشعاعية عالية جدا الى النسيج الملائم وبنفس الوقت يتسلم العاملون في حقل الطب اقل جرع ممكنة وليس من السهولة او الامكان دائما الفصل بين هذين الصنفين في المعلومات المنشورة.

1.2.7 التشخيص باستعمال حزمة خارجية في الاشعاع

(Diagnosis radiology using external beam of radiation)

هذا الاستعمال من اكثر الاستعمالات انتشارا وشيوعا للاشعاع في الطب حيث ان متوسط الجرع السنوية الى جميع العاملين يتراوح بين اجزاء الملغراي الى بضعة ملغراي ويكون الاطباء والمصورون الشعاعيون من اكثر المجاميع تعرضا للاشعاع.

ومن الممكن الاستفادة من عدد الافلام المستعملة لاخذ صور بالاشعة السينية لمقارنة الجرع المتجمعة لوحدة الناتج ومع ذلك فأن المقارنة في هذا المجال تكون صعبة وذلك لان عدد الافلام المستعملة لا يمكن ان يعزى بصورة مباشرة الى الفوائد التي تجنى من قبل المرضى اذ انه ربما يكون هنالك اسباب اخرى لاخذ الاشعة السينية ومع هذا فان القيم تكون ثابتة وتتراوح بين 1 man Sv الى 2 man Sv لكل مليون فلم ويبلغ الحد الادنى 0.4 man Sv بينما يبلغ الحد الاقصى 4 man Sv

اما اطباء الاسنان الذين يستعملون نوعا مختلفا من الاشعة السينية فانهم يعتبرون مجموعة ثانوية ويميز هذا النوع من التعرض بانه يشمل عددا كبيرا من العاملين الذين يتعرضون الى جرع اشعاعية فردية واطئة حيث ان متوسط الجرع السنوية يتراوح بين ما يزيد على الصفر لغاية 0.5 ملغراي.

وهنالك مجموعة صغيرة من المستعملين للاشعة السينية للتشخيص الذي يؤدي الى علاج لا يشمل الاشعاع مثل المقومين للعمود الفقري باليد (Chiropractors) واطباء العظام (Osteopaths) حيث يتراوح تعرضهم لمتوسط جرع سنوية مقدارها 0.2 ملغراي الى 0.3 ملغراي في بعض الدول و 0.1 ملغراي في دول اخرى استنادا الى الممارسة.

التشخيص باستعمال النظائر المشعة المندمجة

(Diagnosis with incorporated radionuclides)

وهو ما يرمز له عادة بالطب الذري وهو يشمل استعمال انواع معينة من النويدات المشعة التي ربما يتم اختيارها لانها تتركز في اعضاء خاصة. ومن مشاكل السيطرة على الجرع ما تعتمد في معظم الحالات على الوقاية من الاستنشاق والتناول وخاصة خلال تحضير وتحليل واعطاء المواد الصيدلانية المعلمة (Radiopharmaceutics) ومع هذا فانه يوجد كذلك مجال اشعاعي خارجي من بعض النويدات المشعة مثل التكنيشيوم ^{99} الذي ربما يعطي جرعا اشعاعية عالية جدا للايدي تقترب من بضعة مئات من مليسيفرت عندما لا تتم حماية الحقنة (Syringe)

ان استعمال الطب الذري قد ازداد في عدد من البلدان زيادة سريعة في عشر السنوات الاخيرة ولهذا يكون من المفضل الحصول على معلومات مفصلة عن تعرض الانسجة والاعضاء لانواع النويدات المشعة بالاضافة الى تقدير الكميات المستعملة وعدد العاملين المتعرضين. ان متوسط الجرع السنوية لعموم الجسم تكون واطئة حيث تبلغ 1 – 2 ملغراي وقد تكون جرع

الاطراف اعلى من ذلك كثيرا . وقد يتعرض كادر التمريض من الفعالية المتبقية في المرضى بعد الرجوع الى محلاتهم .

2.2.7 العلاج بالاشعة (Radiotherapy)

ان العلاج بحزمة خارجية من الاشعة يجري داخل غرف مدرعة بصورة جيدة وبما انه لا توجد فعالية متخلفة في المرضى فانه سوف لا تنتج جرعا اشعاعية الى الممرضين عند رجوع المرضى الى ردهاتهم.ان الجرع الاشعاعية للكادر الطبي المؤهل تكون قليلة جدا حيث ان تشغيل هذه المنشآت يقع على عاتق عاملين مؤهلين اخرين لا يكونون معرفين بصورة دائمية ببساطة في سجلات الجرع ومع هذا فانه من الممكن اعتبارهم من مجموعة العلاج بالاشعة من بعيد (Teletherapy)

كما ان متوسط الجرع السنوية يبلغ نحو 2.5 ملغراي . ونسبة توزيع الجرع المتجمعة السنوية (GR) تبلغ نحو 0.3

هنالك بعض المجاميع الخاصة من العلاج تقع تحت عنوان العلاج بالاشعة . ان ذلك يشمل العلاج بالطاقة العالية الذي لا يشمل العلاج بالاشعة السينية او باجهزة الكوبلت الاعتيادية والنوع الاخر هو استعمال الحزمة النيوترونية وبما ان الدروع تستعمل في هذه الحالات فانه لا يتوقع حدوث تعرض للعاملين عليها ولكن مع هذا فانه قد يحدث تنشيط للهدف مما يؤدي الى جرعة متوسطة سنوية من الاشعاع الخارجي مقداره بضعة m.Gy الى الكادر الطبي والممرض المختص .

المعالجة بالاشعاع باستعمال مصادر بين الانسجة والتجاويف

(Radiotherapy using interstial and intracavity sources)

يتطلب علاج بعض الانسجة الخبيثة استعمال مصادر مغلقة من عدة انواع تعطي جرعا اشعاعية موضعية عالية الى هذه الانسجة . ان هذه العملية

تجرى عادة من قبل عاملين مؤهلين في مجال الطب ومن ضمنهم الجراحون الذين يحتمل تعرضهم الى جرع اشعاعية عالية وخاصة لليدين والوجه والتي لا يمكن وضع دروع واقية لها بصورة مؤثرة. كما ان هؤلاء المرضى يسببون جرعا اشعاعية للمرضى الاخرين القريبين منهم.

والاتجاه في هذه المعالجات، هو ايجاد طرق لتقليل مصادر التعرض المهني وقد جرى هذا بالدرجة الاساس بواسطة محاولة ايجاد تقنية تدعى ما بعد التحميل (After loading) حيث تمكن الاجراءات الجراحية والاجراءات الاخرى من التنفيذ بغياب المصدر الذي يوضع ميكانيكا بعد ذلك. ان هذا الاجراء يسمح باستعمال مصادر ذات فعالية اكثر من المصادر التي يتم التعامل معها مباشرة باليد مما يقلل من الزمن اللازم بحيث تتاح الفرصة لازالة المصدر قبل رجوع المرضى الى محلهم. ولقد وجد انه يمكن تخفيض متوسط الجرع السنوية لكادر التمريض الى حدود 0.2 mGy الى 1.5 mGy بعد استعمال طريقة ما بعد التحميل بينما قد تبلغ الجرع نحو 4.4 mGy دون استعمال هذه الطريقة. ومن الصعب تقدير الجرع المتوسطة السنوية لعموم الجسم او الجرع المؤثرة وذلك لاحتمالية حدوث تشعيع بطريقة غير منتظمة.

العلاج بالاشعة باستعمال المصادر المفتوحة

(Radiotherapy with unscaled sources)

ان معالجة الامراض السرطانية في بعض الاحيان ربما يجري باستعمال المواد الصيدلانية المعلمة التي تذهب بصورة مفضلة الى العضو المعين. ان اكثر الامثلة شيوعا على ذلك هو معالجة الغدة الدرقية باليود المشع وهذا النوع من العلاج يخلق مشاكل خاصة للتمريض بعد العلاج حيث ان الفعالية تفقد بصورة تدريجية من المرضى بواسطة فعاليات الطرح الاعتيادي من الجسم وبضمنها التعرق والتنفس والادرار ولربما تكون هنالك جرع اشعاعية خارجية ملموسة اعتمادا على النويدات المشعة المستعملة.

والخلاصة ان الجرع الاشعاعية لمستعملي الاشعاع للاغـراض الطبيـة تكون متغيرة كثيرا وتتميز في بعض الحالات بعدم وجود تجانس للتوزيع على الجسم. كما انه من غير الممكن تشخيص وحساب فوائد جميع الاعمال الطبية ولغرض الحصول على دلالة حول مجموع التعرض المهني فانه ربما يكون من الافضل وصفها بمكافيء الجرع المتجمعة السنوية لكل مليون من السكان. ان المعلومات المتوفرة تشير الى ان هذه الطريقة تختلف من قطر لآخر.

ان رقماً مقبولا للدلالة على مكافيء الجرع السنوية المتجمعة لكل مليون شخص في الدول ذات العناية الطبية الفائقة هي 1 mSv ويجب استعمال قيمة اقل في البلدان التي تستعمل الاشعاع في الطب بصورة اقل.

3.7 استعمال الاشعاع في الصناعة والبحوث

هناك استعمالات عامة متعددة للاشعاع في الوقت الراهن في الصناعات العامة. ان معظم هذه الاستعمالات تشمل مصادر مغلقة بحيث تعطي جرعا اشعاعية ضئيلة جـدا بحيث ان المستعملين لا يصنفون ضمن العـاملين في حقـول الاشعاع والامثلة عـلى ذلك كـاشفات الحـريق والدخـان ومقاييس السُمك.

ان هذه الاستعمالات تشمل

1.3.7 التصوير الصناعي الاشعاعي (Industrial radiography)

من الممكن تقسيم التصوير الصناعي الاشعاعي الى قسمين رئيسيين وهما الاول ما تكون فيه المنشآت دائمية نوعا ما ويجري فحص النماذج تحت ظروف مسيطر عليها بصورة معتدلة والثـاني ما تستعمـل فيه المصـادر تحت ظروف متخلفة وذلك في مواقع الانشاءات ومواقع اخرى.

ان السيطرة القياسيـة والاشراف والوقـاية تختلف الى درجـة كبيرة في الحالتين وهذا مما يجعل حوادث التعرض لاعلى ما هو مسموح به من الجرع حالة واقعية فيما يخص النوع الثاني من الاعمال وخاصة المصورين الشعاعيين في المواقع.

وغالبا ما يتم عدم التمييز بين هذه الصنوف. ان المصورين الشعاعيين في بعض البلدان يتسلمون جرعا سنوية متوسطة مقدارها mGy 2.5 وقد تختلف الجرع المتسلمة في التصوير بين موقع واخر. ان نسبة توزيـع الجرع المتجمعة السنوية (GR) تبلغنحو 0.4 وقد تراوحت النتائج في كثير من الدول بين mGy 1 الى mGy 2 وعلى ما يبدو فان هناك تناقضا بين متوسط الجرع السنوية وتوزيع الجرع الواردة هنا وبين الفكرة الواسعة الانتشار والقائلة بان المصورين الشعاعيين هم من اكثر المجاميع تعرضـا للاشعـاع. ان هذه الفكرة تستند الى الحقيقة وهي ان العاملين في هذه المجموعة يكونـون اكثر عرضة لتسلم جرع اشعاعية اعلى من الحدود المسموح بها والتي تكون ناتجة عن الحوادث اكثر من اية مهنة اخرى.

2.3.7- الصناعات الوضائة (Luminizing)

ان المواد المشعة مستعملة منذ عقود من الزمن بصفة مواد وضائة ولقد ظهر الاتجاه الان لتبديل الراديوم بـالتريتيـوم والى درجة اقـل بالـبروميسيوم – 147 ومع هذا فان الطريقة مازالت مستعملة بصورة واسعة. ان التريتيوم يستعمل مع الفسفور في الاصباغ او بصفة غاز داخل انبوب زجاجي تطلى جدرانه بالفسفور كما ان متوسط الجرع السنوية يكون مرتفعا الى حد ما ويصل الى 15 ملغراي ويكاد يعود بصورة كاملة الى الجرع الداخلية الناتجة من التريتيوم مع توزيع جرع يظهر جزء مهم في العاملين المتسلمين لجرع اشعاعية تتجاوز 15 ملغراي وهناك عدد قليل من العاملين الذين تتجاوز جرعهم 50 ملغراي.

3.3.7 انتاج النظائر المشعة

ان هذا يشمل انتاج المصادر المشعة المغلقة والمفتوحة وبعض المواد الصيدلانية المشعة. ان من المحتمل ان يسبب هذا النوع من الاعمال تعرضا بواسطة دخول المواد المشعة الى الجسم مما يسبب جرعا متوسطة سنوية تبلغ 7.5 ملغراي.

كما ان بعض العاملين في المطارات قد يتعرضون الى الاشعاع نتيجة نقل رزم هذه المواد المشعة. لقد دلت بعض الدراسات على ان الجرع الاشعاعية المتسلمة من قبل عمال نقل البضائع في المطارات تكون قليلة ولا تتجاوز 1 ملغراي لاعلى جرع للمجاميع وان اعلى جرع فردية لم تتجاوز 5 mGy ان متوسط الجرع الاشعاعية السنوية الى الطيارين وكادر الطيران الناجم عن رزم المواد المشعة والتي يكون معظمها محتويا على المواد الصيدلانية المعلمة قد قدرت بانها اقل من 0.01 mGy ان اعلى جرعة فردية لاي من طاقم الطائرة المساعد الناتج عن الرزم للمواد المشعة قد قدر بـ 1 mGy

4.3.7 الاستعمالات الصناعية الاخرى

هناك استعمالات كثيرة اخرى للمصادر المفتوحة والمغلقة تتراوح بين التجارب باستعمال المواد المعلمة الى ايجاد عمق الابار وانظمة القياس الاخرى.

والمعلومات عن التعرض في هذه المصادر لا تميز بصورة منفصلة في بلدان كثيرة من العالم كما ان جميع هذه الانواع من الاستعمال للاشعاع في الصناعة تولد نفايات مشعة غالبا ما تكون بحجم كبير لا يكون ملائما للمعاملة او التعبئة ويجري ردم مثل هذه النفايات في عدد كبير من البلدان مفصولا عن ردم النفايات المتولدة من الصناعات النووية.

وتكون الجرع الاشعاعية المتسلمة من قبل العـاملين في هذه الاعـمال عـالية جـدا حيث يبلغ متوسط الجـرع السنويـة 13 ملغراي وتمثـل هذه المجموعة اعلى مجاميع العاملين في حقول الاشعاع تعرضا وظيفيا.

4.7 البحوث

هنالك عدد من العاملين الذين يستعملون الاشعاع واسطة للبحوث وفي الغالبية العظمى من هذه المهن يكون متوسط الجرع السنوية فيها قليلا جدا اذ يبلغ 1 ملغراي وهنالك مجاميع بحثية تتسلم جرعا اعلى ومنها العاملون في المعجلات ومرافق التشعيع الكبيرة التي تؤدي الاعمال فيها الى جرع متوسطة سنـوية مقـدارها 4.5 ملغـراي كما يتعـرض بعض البـاحثـين المستعملين للمصادر المشعة المفتوحة الى جرع تتجاوز 15 ملغراي.

وخلاصة القول فان هنالك استعـمالات متعددة لـلاشعاع في المجـال الصناعي تقع تحت اشراف ادارات مختلفة وغالبا ما تكون تحت قوانين مختلفة حسب البلدان ولهذا فان النتائج المنشورة لا تكون متماثلة.

الفصل الثامن

معايير الوقاية من الاشعاع الاساسية وتطبيقاتها

(Basic Safety Standards For Radiation Protection)



الفصل الثامن

معايير الوقاية من الاشعاع الاساسية وتطبيقاتها

1.8 الفلسفة واسس الوقاية من الاشعاع

تكون الوقاية من الاشعاع معنية بوقاية الافراد وذريتهم والبشرية كلها من التأثير الضار للاشعاع الجسمي والوراثي مع السماح للفعاليات الضرورية بالحدوث والتي ينتج عنها تعرض اشعاعي. ان التأثيرات تسمى جسيمة في حالة ظهورها على الاشخاص المعرضين وتسمى وراثية في حالة ظهورها على السلالات اللاحقة.

وتتضمن الوقاية من الاشعاع نوعين مميزين من انواع التعرض هما، التعرض المنظور الذي يمكن الحد منه بواسطة السيطرة على مصدر الاشعاع وبواسطة تطبيق نظام تحديد الجرع (ان هذا التعرض للاشعاع يمثل ظروف التعرض الوظيفي). والنوع الاخر من التعرض هو التعرض الى الاشعاع الذي لا يمكن السيطرة على مصدر الاشعاع وان اي تعرض لاحق يمكن ان يحدد مقداره (ان امكن ذلك) بواسطة اعمال تصحيحية. ان هذا التعرض يحدث في الظروف غير الطبيعية (كالحوادث)..

ان اي برنامج للوقاية من الاشعاع يتضمن هدفين رئيسين هما :

1 ـ منع حدوث التأثيرات غير الاحتمالية الضارة (Non – stochastic effects) ان هذه التأثيرات تحدث وان هناك قيمة مشرفية (Threshold value) لا يحتمل ان تحدث مالم يتم تجاوزها ومثال على ذلك عتمة عدسة العين وانخفاض خلايا نخاع العظام.

2 ـ تخفيض حدوث التأثيرات الاحتمالية (Stochastic effects) الى مستويات اقل بصورة كافية لكي تصبح مقبولة. ان هذه التأثيرات تظهر على بعض الاشخاص بشكل عشوائي عند التعرض الى مستويات اشعاع ضمن حدود التعرض المهني.ان مثل هذه التأثيرات تكون كامنة عادة وتظهر بعد فترة طويلة من التعرض الى الجرع الاشعاعية الواطئة وتشمل هذا التأثيرات حدوث الامراض الخبيثة (السرطان) والتأثيرات الوراثية. ولا يوجد حد حرج لها اي انها يحتمل ان تحدث عند التعرض لاي جرعة مهما كانت قليلة وبذلك

فانه من حيث المبدأ لا توجد هنالك جرعة اشعاعية لا يحتمل ان تسبب ضرراً. وبالاضافة الى ذلك فان هنالك هدفا ثالث وهو التأكد من ان اي عمل يتضمن التعرض الى الاشعاع يجب ان يكون مبررا. ان منع التأثيرات غير الاحتمالية يتضمن وضع حدود لمكافىء الجرع تكون قليلة بما فيه الكفاية بحيث لا تبلغ الجرع الحرجة حتى بعد التعرض الى الاشعاع لمدى الحياة او خلال فترة العمل في حقول الاشعاع. اما الحد من التأثيرات الاحتمالية فان ذلك يتم بواسطة المحافظة على التعرض الى اقل ما يمكن منطقيا مع الاخذ بنظر الاعتبار العوامل الاقتصادية والاجتماعية والتي تكون محددة كذلك بظروف عدم تجاوز حدود مكافىء الجرع المناسبة.

ان معظم القرارات حول فعاليات البشر تستند الى الموازنة بين الكلفة والمنفعة مما يؤدي الى الوصول الى القناعة بان الفعالية تستحق القيام بها بالاضافة الى ان الفعالية يجب ان تتم بصورة يحصل فيها الفرد او المجتمع على اقصى فائدة.

ومن الممكن وضع الاطار الشكلي لعمليات اتخاذ القرار هذه ولكن تطبيق هذه العمليات سوف لا يوفر وقاية للافراد دائما لهذا يصبح من الضروري وضع حدود لمكافىء الجرع في الحالات التي لا تكون المنافع والمضار متسلمة من قبل نفس الافراد من السكان.

وعليه فان الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP) قد قامت في سنة 1977 باصدار توصياتها حول الموضوع (المصدر 52) حيث اقترحت نظاما لتحديد الجرع.

2.8 نظام تحديد الجرع (Dose Limitation System)

تشمل التعليمات الرئيسة لنظام تحديد الجرع ما يلي

1 ـ لا يتم القيام باي عمل في حقول الاشعاع ما لم يؤد ذلك الى حصول منفعة ايجابية صافية (Positive net benefit)

2 ـ ان جميع التعرضات يجب ان يحافظ عليها على اقل ما يمكن منطقيا مع الاخذ بنظر الاعتبار العوامل الاقتصادية والاجتماعية،

3 ـ ان مكافىء الجرع للافراد يجب ان لا يتجاوز حدودا موصى بها من قبل الهيئة حسب الظروف.

ولغرض الاستجابة للخواص الرئيس للنظام فانه سوف يجري شرح كل واحدة من هذه الخواص.

1.2.8 التبرير (Justification)

لغرض منع التعرض غير الضروري الى الاشعاع فان اي عمل يؤدي الى التعرض الى الاشعة المؤينة يجب ان لا يجاز من السلطات المسؤولة (هيئة الوقاية من الاشعاع في العراق) ما لم ينتج عنه فائدة صافية.

يجري تبرير العمل المتضمن التعرض للاشعاع المقترح عن طريق دراسة المزايا والمساوىء للتأكد من وجود فائدة صافية (Overall net benefit) . ان الجهات المختصة يجب ان تتأكد من ان الضرر الكلي (Total detriment) الذي ينتج عن العمل المقترح يكون قليلا بصورة ملموسة بالمقارنة مع الفوائد المتوخاة من العمل او المشروع. ان من الممكن استعمال تحليل الكلفة/ الفائدة (Cost - benefit analysis) لغرض الوصول الى قرار يتعلق بالسماح بالقيام بالعمل او المشروع الذي يؤدي الى التعرض الى الاشعاع.

كما ان من الممكن التعبير عن الفائدة في تحليل الكلفة والفائدة الصافية الناتجة من العمل المتعلق بالتعرض الى الاشعاع بالمعادلة التالية

$$B = V - (P + X + Y) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8.1)$$

ان حساب وتقدير المصطلحات الواردة في المعادلة لغرض التقدير المطلق (Absolute assessment) اللازم لتبرير العمل لا يكون سهلا بالاضافة الى تعقده ولهذا يلجأ الى التقدير النسبي (Relative assessment)

الذي يقارن بين مبرارات المشاريع البـديلة حيث يكون اجـراؤه اسهل لان الفائدة الكلية تبقى كما هي.

يخضع قبول مشروع عمـل او تفضيل مشروع عمـل على اخـر لعدة عوامل يتعلق قسم منها فقط بالوقاية من الاشعاع. ان دراسة دور الوقاية من الإشعـاع في التبريـر يضمن ان الضرر الناتـج من الاشعاع قـد اخذ بنـظر الاعتبار.

2.2.8 ايصال الوقاية من الاشعاع الى الحالة المثلى

(Optimization of radiation protection)

لغرض معرفة ما اذا كان تقليل التعرض قد تم بطريقة منطقية فانه من الضروري الاخذ بنظر الاعتبار زيادة الفائدة من جهة من هذا التقليل وزيادة التكاليف من الناحية الاخرى الـلازمة لاحـداث هذا التقليـل. وفي تحليل الكلفة/ الفائدة التفاضلي (Differential cost – benfit analysis) الذي يجرى لموصول الى اقصى ما يمكن من الفائدة الصافية فان المتغير غير المعتمد وهو مكافيء الجرع المتجمعة S من الممارسة. ان الفائدة الصافية المثالية يمكن ان يحصل عليها فيما لو تحققت المعادلة

$$\frac{dv}{ds} - \left(\frac{dp}{ds} + \frac{dx}{ds} + \frac{dy}{ds}\right) = o \quad \text{........ (8.2)}$$

وبما V و P تعتبران ثابتين مع S لفعالية معينة فانه نستنتج ان شروط المثالية قد استجيب لها في قيمـة S بحيث ان الزيـادة في تكاليـف الوقاية لوحدة مكافيء الجرعة توازن تقليل الضرر لوحدة مكافيء الجرعة

$$\left(\frac{dx}{ds}\right)_s = -\left(\frac{dy}{ds}\right)_s \quad \text{.......... (8.3)}$$

ومع هذا فان المكونات الاخرى للضرر الاشعاعي مثل وضع القيود على المسالك للمنطقة او وضع القيود على استعمال المنطقة لا يكون متعلقا مباشرة مع مكافىء الجرع المتجمعة وانه ربما يتأثر في بعض الحالات باعلى جرع مكافئة للمجاميع المتعرضة.

ان التقديرات المستندة الى المعادلة اعلاه ربما تساعد بواسطة وضع قيمة نقدية على وحدة مكافىء الجرع المتجمعة بالرغم من انه في التطبيق العملي يكون من الصعب جدا قياس بعض مكونات الضرر كمياً. كما ان تطبيق العمليات الواردة في هذا الفصل قد لا توفر دائما وقاية كافية للافراد وخاصة عندما لا تكون الكلفة والفائدة موزعة بصورة مماثلة على السكان ولعمل معين وبغض النظر عن نتائج تحليل الكلفة/ الفائدة فانه يجب ان تحترم حدود مكافىء الجرع الفردية واذا كان استعمال مكافىء الجرع المتجمعة المثالي يؤدي الى تجاوز اي فرد للحدود المناسبة فانه يصبح من الضروري وضع قيمة لمكافىء الجرع المتجمعة بحيث تحترم حدود مكافىء الجرع الفردية.

ونستنتج من المناقشة التي جرت اعلاه انه عند تصميم مصادر الاشعاع ووضع الخطط الخاصة بالاستعمال المقبل وتشغيل المصدر او المنشأة فانه يجب ان يجري ذلك بطريقة تؤدي الى ان التعرض الى الاشعاع يكون على اقله ضمن حدود المعقول (As low as reasonably achievable) مع الاخذ بنظر الاعتبار العوامل الاقتصادية والاجتماعية.

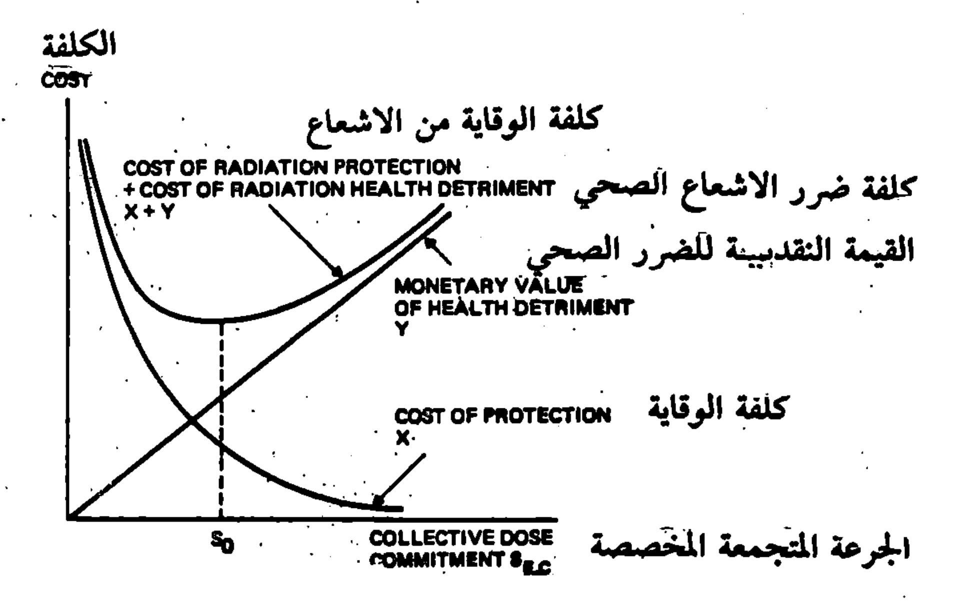
ان التحليل الكمي يستعمل بصفة منهاج للسلطات المختصة عند وضعها للمتطلبات الكمية مثل الحدود المصرح بها (Authorized limits) او المستويات المحددة (Reference levels) ، ان التحليل الكمي يستعمل كذلك لتقدير مديات تقليل الجرع عند التعرض قبل ان يؤدي خفض الجرع اكثر الى زيادة نسبية في الكلفة تكون غير مبررة ويعتمد هذا التقدير على تحليل الكلفة/ الفائدة التفاضلي (Differential cost – benefit) وهو يعرف كذلك بتقدير المثالية (Optimization assessment) ان كلفة الضرر الاشعاعي (Radiation detriment cost) يفرض عادة على انها تتناسب مع مكافىء الجرع المؤثرة

الكلية المخصصة ورمزها SC_E للفعاليات تحت التقدير واذا كانت هناك عوامل اخرى مثل احتمال الخطر للسكان (Public risk pecreption) قد تكون ضمن كلف الضرر الناتج من الاشعاع فعندئذ تكون القيمة Y كذلك دالة للجرع الفردية (Individual) ورمزها $\bar{Hi}$ لمجاميع مختلفة من المتعرضين Ni وبهذا تكون قيمة الضرر

$$Y = \alpha SC_E + B \Sigma Nif(\bar{Hi}) \quad .... (8.4)$$

ان الوقاية من الاشعاع تعتبر مثالية عندما تكون مجموع تكاليف الوقاية X وتكاليف الضرر من الاشعاع Y على اقلها (الشكل 1.8)

وبعد ان تقوم الجهات المخصصة بتقدير المثالية للمشروع فانها



الشكل 1.8 الوصول بالوقاية من الاشعاع الى الحالة المثلى

المصدر IAEA(1982) 44

ربما تستند الى النتائج في وضع الضوابط كأن تقوم بتحديد اقل سمك مسموح به للدروع الواقية او التعرض الاقصى قرب المصدر المشع او اختيار الطريقة لمعاملة النفايات.

عندما يعتبر مكافىء الجـرع المؤثرة المتجمعـة S_E المخصصة نتيجـة العمل متغيراً مستقلا فان الفائدة الصافية المثالية يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار وكأنها حققت بقيمة S_E كما بحيث يصبح نظرياً

$$\frac{dv}{dS^c_E} + \left(\frac{Dp}{dS^c_E} + \frac{dx}{dS^c_E} + \frac{dY}{dS^c_E}\right) = O \quad \ldots\ldots (8.5)$$

وكذلك فانه اذا كان من الممكن اعتبار P و V بصفة ثابتين مع SE وهي الحالة الاعتيادية فأن الحالة المثالية تختصر الى

$$\left(\frac{dx}{dS^c_E}\right) = -\left(\frac{dY}{dS^c_E}\right) \quad \ldots\ldots (8.6)$$

وعندما يتناسب الضرر من الاشعاع مع مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة فانه من الممكن اعتبار قيمة $\frac{dY}{dS^c_E}$ بصفة قيمة ثابتة اذا كان

$$\frac{dY}{dS^c_E} = -\alpha \ldots\ldots (8.7)$$

عندما تكون تكاليف الوقاية من الاشعاع متغـيرة باستمـرار فانـه من الممكن اعتبار

$$\frac{dX}{dS^c_E} = \alpha \ldots\ldots (8.8)$$

بصفة وقاية مثالية نظرية (Optimal theoretical protection) ولهذا فانه عند تطبيق المعادلة اعلاه فانه يكون من المناسب لغرض الوصول بمعاملات الوقاية من الإشعاع الى الحالة المثلى (Optimization of protection parameters) اخذ قيم مستمرة مثل سمك الدرع الواقي. ومن الناحية الاخرى عندما يكـون المتغير في مستوى الوقاية غير مستمـر (Discontineous) وهو الـذي يشمل الاختيار بين خيارات الوقاية فانه من الممكن استعمال الاسلوب ادناه:

عندما يكون القرار هو تغيير مستوى الوقـاية A الى مستـوى اعلى الوقاية B بحيث تكون كلف الوقايـة للاول X_A والثـاني X_B وان مكافىء الجرع المتجمعة المخصصة هما S^cA و S^cB عندما تكون

$$\frac{X_B - X_A}{S^c{}_B - S^c{}_A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8.9)$$

ان التقدير المستند الى المعادلة اعلاه يتطلب استعمال قيمة مالية لـ α ان هذه القيمة تكون تقديرية (Value judjement) تعكس رغبـة المجتمع وقدرته على خفض الخطر الاحتمالي (Stochastic risk) . ان القيمة α تحدد من قبل السلطات المسؤولة لغرض استعمالها في تقدير المثالية (راجع المصدر 161)

ان من المتوقع استعمال الطرائق التحليلية الواردة في هذا الفصل عند التصاميم او عند وضع برنامج الوقاية من الاشعاع .

اما استعمالها اثناء التشغيل للمنشآت الموجودة حاليا فانها تكون نوعية وليست كمية .

3.2.8 تحديد الجرع (Dose limitation)

تعتبر الحدود والمستويات القياسية مفاهيم مختلفة في الوقاية من الاشعاع حيث يكون الحد هو الكمية التي يجب ان لا يتم تجاوزها بينما يكون المستوى القياس كمية تستعمل لغرض الوصول الى التصرف في حالة معينة اذاً فهي ليست حداً .

ان الحدود المستعملة في الوقاية من الاشعاع هي الاتي

الحدود الابتدائية للمكافىء الجرع (Primary dose equivalent limits)

وهي تـرمز الى مكـافىء الجرع (Dose equivalent) ومكـافىء الجرع المؤثرة (Effective dose equivalent) ومكافىء الجرع المخصصة (Commut-

ومكافىء الجرع المؤثرة المخصصة (Committed effective dose equivalent) واستنادا الى ظروف التعرض فان الحدود تشمل الافراد او في حالة تعرض السكان فان هذه الحدود ترمز الى الشريحة الاكثر تضرراً من السكان (Critical group) .

الحدود الثانوية (Secondary limits)

تظهر الحاجة الى الحدود الثانوية عندما لا يمكن تطبيق الحدود الابتدائية بصورة مباشرة. وفي حالة التعرض الخارجي فان الحدود الثانوية يعبر عنها بمصطلح دليل مكافىء الجرعة (Dose equivalent index) الذي يرمز له HI,d او H.I,s اما في حالة التعرض الداخلي فانه يعبر عن الحدود الثانوية بالحدود السنوية للتناول (Annual limits of intake)

الحدود المشتقة (Derived limits)

ان الحدود المشتقة تتعلق بالحدود الابتدائية بواسطة نموذج (Model) بحيث انه عندما يخضع الى الحدود المشتقة فانه من الممكن استنتاج الحدود الابتدائية.

الحدود المصرح بها (Authorized limits)

وهي الحدود التي توضع من قبل السلطات المختصة او من قبل ادارة المنشأة لاي كمية وهي تكون بصورة عامة اقل من الحدود الابتدائية او الحدود المشتقة وعندما تحدد الكميات من قبل ادارة المنشأة او المشروع فانه يطلق عليها كذلك حدود العمليات (Operation limits) . ان الحدود الابتدائية والثانوية تحدد من قبل السلطات المختصة كهيئة الوقاية من الاشعاع في العراق مثلا ويتم تطبيقها على الافراد دون اخذ المصدر بنظر الاعتبار وبالاضافة الى ذلك فانه في منشأة محددة او طريقة محددة فان السلطات المختصة ربما تضع حدوداً لكميات متعددة لها علاقة مثلا بمصدر الاشعاع والبيئة والاشخاص المعرضين الى الاشعاع. ان هذه الحدود المصرح بها تتغلب على الحدود المشتقة. ان

الحدود العملية يجب ان لا تزيد على الحدود المصرح بها وعندما توضع الحدود بوصفها قيما متوسطة لفترة من الزمن فان ذلك يدل على ان الفعالية للكمية المحددة في فترات زمنية اقل ربما تظهر بصورة متذبذبة كثيرا.

4.2.8 المستويات

هنالك عدة مستويات قياسية مستعملة في الوقاية من الاشعاع وهي

مستوى التسجيل (Recording level)

وهو المستوى الذي يحدد من قبل السلطات المختصة لمكافىء الجرع او لمكافىء الجرع المؤثرة او للتناول (intake) حيث ان القيم الاعلى منها تعطي معلومات تكون مهمة من ناحية الوقاية من الاشعاع بحيث تستحق التسجيل والحفظ راجع (ICRP 30) المصادر (52 – 56)

مستوى التحري (Investigation level)

وهي قيم مكافىء الجرع او مكافىء الجرع المؤثرة او التناول التي عند تجاوزها فان النتائج قد تكون مهمة بما فيه الكفاية مما يستوجب تتبع ودراسة الموضوع.

مستوى التدخل (Intervention level)

ويتم تحديد هذا المستوى عادة في الحالات غير الاعتيادية الذي لا يكون فيها المصدر المشع تحت السيطرة.تقوم الجهات المختصة بوضع هذه الحدود مقدما او قد تقوم ادارة المشروع او المنشأة بذلك بحيث انه في حالة عدم تجاوز القيم الموضوعة او انها لا يحتمل ان تتجاوز هذه القيم فانه من غير المحتمل ان يحدث التدخل.

المستويات القياسية

ربما يتم وضع مستويات قياسية لاي كمية مستعملة الوقاية من الاشعاع سواء اكانت هناك حدود لتلك الكمية ام لم تكن.

5.2.8 حدود مكافىء الجرع السنوية (Annual dose equivalent limits)

يجب ان لا يزيد تعرض الافراد نتيجة التعرض الى عمل مسيطر عليه الى اكثر مما يلي

العاملين

ان حدود مكافىء الجرع المؤثرة السنوية هي 50 mSv بالنسبة الى التأثيرات الاحتمالية (Stochastic effects)(5rem) وبالاضافة الى ذلك فان حدود مكافىء الجرع السنوية بالنسبة للتأثيرات غير الاحتمالية (Non – stochastic effects) هي (50 rem) 500m Sv ما عدا عدسة العين حيث يكون الحد (15 rem) 150 mSv

التعرض المتعمد: (Planned special exposure)

هنالك عدة ضوابط موضوعة للتعرض المتعمد هي

1 ـ الترخيص المناسب من قبل الادارة. ان مثل هذه الترخيصات تعطى فقط في الحالات الاستثنائية خلال التشغيل الاعتيادي عندما لا يمكن استعمال طرائق بديلة تؤدي الى حدوث تعرض اقل.

2 ـ المراعاة على ان المكافىء الجرع ومكافىء الجرع المخصصة المتسلمة اثناء التعرض الخاص المتعمد لا تتجاوز ضعف الحدود السنوية ذات العلاقة

---

1 0.3 سيفرت (30rem) حسب توصية ICRP (المصدر 52)

والخاصة بالعاملين في حادثة مفردة او في خلال العمر خمس مرات .

3 ـ يجب استشارة العاملين الذين سوف يتعرضون الى الجرع المتعمدة الخاصة حول مخطط العملية قبل تنفيذها واخبارهم حول مقدار الخطر الناتج وشرح طريقة خفض الجرع المتسلمة الى اقل ما يمكن تحقيقه

4 ـ لا يصرح بالتعرض الخاص المتعمد في الحالات التالية

أ ـ العاملين الذين تعرضوا سابقا تعرضا غير طبيعي وغير مسيطر عليه مما تسبب في جرع مكافئة اكثر من خمس مرات الحدود السنوية .

ب ـ العاملات من النساء القابلات على الانجاب .

5 ـ تنطبق ضوابط معينة على العامل المتعرض للتعرض الخاص المتعمد وهي الحالات التي قد يتجاوز التعرض السنوي فيها ثلاثة اعشار حدود مكافىء الجرع حيث يخضع العاملون الى المراقبة الصحية (Health supervision) ويقدر مكافىء الجرع بصورة فردية حيث يتم تقدير مكافىء الجرع الشخصية بواسطة مراقبة الافراد للاشعاع الخارجي (Individual monitoring for external radiation) والتلوث الداخلي كلما دعت الضرورة لذلك بالرغم من انها في بعض الاحيان تعمل بطريقة غير مباشرة .

6 ـ انّ مكافىء الجرع ومكافىء الجرع المخصصة التي تنتج عن التعرض الخاص يجب ان تسجل مع الجرع المتسلمة في حالات التعرض الاعتيادية ولكن اي زيادة عن الحدود الموصى بها للعاملين في حقول الاشعاع يجب ان لا تستعمل بصفة سبب لغرض تنحية العامل عن عمله المعتاد .

7 ـ ان مكافىء الجرع او مكافىء الجرع المخصصة الناتجة عن التعرض المتعمد الخاص يجب ان يبلغ بها العامل والطبيب الممارس المختص المخول (Approved medical practioner) والى الجهات المختصة (في العراق اللجنة الطبية الخاصة المسماة بموجب قانون الوقاية من الاشعاعات المؤينة الرقم 99 لسنة 1980 والى هيئة الوقاية من الاشعاع)

النساء القابلات للحمل (Women of reproductive capacity)

لا توجد هناك ضوابط خاصة للنساء القابلات للحمل مع ملاحظة توزيع التعرض على الزمن بصورة منتظمة ان امكن ذلك.ان الغرض من ذلك هو حماية الجنين قبل ان تكتشف حالة الحمل وعندما يعرف ان المرأة تكون حاملا فانها يجب ان تشغل في عمل تكون احتمالية تعرضها فيه الى ثلاثة اعشار حدود مكافئ الجرع ضئيلة جدا.

افراد المجتمع (Members of public)

ان حد مكافئ الجرع المؤثرة السنوية فيما يخص افراد المجتمع هو 0.5 rem mSv وهذه الحدود من الجرع تطبق على الجزء الاكثر تعرضا من السكان (Critical group of population)

وعندما يكون تعرض نفس الافراد من المجتمع الى جرع اشعاعية قريبة جدا من مكافئ الجرع المؤثرة السنوية لفترة طويلة جدا (عدة سنوات) فانه يصبح من اللازم اتخاذ الاجراءات لغرض تحديد جرع العمر المكافئة المؤثرة (Life – time effective dose equivalent) الى قيمة تقارب متوسطا سنويا مقداره mSv 1 (0.1 rem)

6.2.8 الحدود الثانوية للتعرض المهني

(Secondary limits For occupational exposure)

1 ـ لغرض اثبات الالتزام بالحدود الابتدائية للتعرض المهني للعاملين في حقول الاشعاع والخاصة بالتعرض الاعتيادي والتعرض المتعمد الخاص فانه من الممكن استعمال دليل مكافئ الجرع (Dose equivalent index) والحدود السنوية للتناول (Annual limits of intake) ورمزها ALI

(المصـادر 52 – 30, 56 ICRP وملاحقه واجزاءه)

2 ـ عندما يحدث التعرض الخارجي والتعرض الداخلي في بنفس السنة فان حدود الجرع السنوية سوف لا يتم تجاوزها اذا اخذ بنـظر الاعتبار الشروط التالية

$$\frac{H_{I,s}}{500\,(mSv)} \leq 1$$

$$\frac{H_{I,d}}{50\,(mSv)} + \sum_j \frac{I_j}{I_{j,L}} \leq 1 \quad \text{...(8.10)}$$

حيث تكون $H_{I,s}$ دليل مكافىء الجرع السطحية

(Shallow dose – equivalent index

و $H_{I,d}$ هو دليل مكافىء الجرع العميق

(Deep dose – equivalent index)

و I_j هو الحد السنوي لتناول العنصر المشع i

Annual limit of intake for radionuclide j.

7.2.8 الحدود والكميات الثانوية لافراد المجتمع

(Secondary limits and quantities for members of the public)

بالنسبة لافراد المجتمع فانه من الممكن تقـدير مكـافىء الجرع المؤثـرة باستعمال المعادلة

$$H_E = \sum_T W_T H_T$$

حيث تكون H_T هي معدل مكافىء الجرع في العضو او النسيج t و W_T هو معامل الوزن (Weighing factor) الذي يمثل الضرر النـاتج من التأثير الاحتمالي الناتج في النسيج T ، الى مجموع الضرر (detriment) الناتج من التأثير الاحتمالي عندما يشعع الجسم بصورة منتظمة.

ان قيمة معامل الوزن لخمسة من الاعضاء او الانسجة الاخرى التي تتسلم اعلى مكافىء جرع هي 0.06 ويهمل التعرض للانسجة الاخرى مع الاخذ بنظر الاعتبار ان اجزاء القناة الهضمية (GI tract) مثل المعدة والامعاء الدقيقة والجزء العلوي من الامعاء الغليظة والجزء الاسفل من الامعاء الغليظة تعتبر اربعة اعضاء مختلفة. كما ان مكافىء الجرع للايدي والاذرع والاقدام والكعوب والجلد وعدسة العين لا تأخذ بنظر الاعتبار عند تقدير مكافىء الجرع المؤثرة ومع ذلك فانه عند تقدير الضرر الناتج عن تعرض كافة السكان فان معامل الوزن للجلد وللامراض السرطانية يكون 0.01 وذلك للاحتمالية القليلة بان يكون سرطان الجلد مميتا. ان نفس معاملات الوزن هذه تستعمل للعاملين مهنيا في حقول الاشعاع ولافراد المجتمع وتستعمل كذلك في حسابات مكافىء الجرع الناتجة عن تناول المواد المشعة والمعلومات الحياتية وعوامل الايض (التمثيل) (Metabolism) والعوامل الاخرى مثل عادات التغذية والتوزيع السكاني واستعمالات الارض المتعلقة بالشريحة الاجتماعية الاكثر تعرضا للضرر (Critical group) .

في حالة تعرض الشريحة الاكثر حساسية للضرر المتكونة من الاشخاص البالغين فقط فانه يستعمل جزء بالعشرة وبالخمسة عشر من القيم الثانوية (Secondary quantities) والتي تكون او تقارب مكافىء الجرع المؤثرة السنوية للسكان[1]. اما في الحالات الاخرى التي تكون فيها الشريحة الاجتماعية الاكثر تعرضا للضرر اطفالا او رضعا فان قيمة 1/100 من قيم الـ ALI التي في المصادر 52 – 56 يمكن ان تستعمل بصفة كميات ثانوية على ان تكون مقاربة او اقل من مكافىء الجرع المؤثرة السنوية للسكان او انه يتطلب تقدير خاص. ان من الممكن استعمال دليل مكافىء الجرع في حالة التعرض الخارجي وعندما يكون ملائما فان الكميات ذات العلاقة للحدود الثانوية تحسب باستعمال الحدود السنوية لمكافىء الجرع المؤثرة الى دليل مكافىء الجرع العميقة HI,d وحدود مكافىء الجرع السنوية للجلد الى مكافىء الجرع السطحية HI,s

---

(1) حددت بـ 1/10 لاحقا راجع ICRP 43 (1985) (مصدر 67)

3.8 التطبيقات العملية لاسس الوقاية من الاشعاع

هنالك عدة مستويات للتطبيقات العملية للوقاية من الاشعاع المستوى الاول ويكون من مسؤولية السلطات المختصة (Competent authority) وفيما يخص العراق فان ذلك يمثل هيئة الوقاية من الاشعاع. تقوم السلطات المختصه بوضع الضوابط اللازمة لوقاية العاملين وظيفيا في حقول الاشعاع والسكان وهي تصدر بذلك تعليمات وبيانات وتمنح رخصا لاقامة المشاريع والمنشآت التي يتم فيها التعرض الى الاشعاع.

1.3.8 منح الاجازة

ان أي اجازة لا تمنح لاي مصدر او فعالية ينتج عنها تعرض البشر للاشعاع المؤين ما لم تكن مصحوبة بنظام التبليغ والتسجيل او الاجازة حسب تعليمات الجهات المختصة ما عدا بعض الفعاليات ومصادر التعرض المستثناة بموجب القانون والتعليمات الصادرة لانها لا تشكل خطرا ملموسا على الصحة يستحق وضع الضوابط للسيطرة عليه.

وفيما يلي بعض الاسس التي تعتمد لاستثناء المواد المشعة والاجهزة ومصادر الاشعاع من الاجازة.

اولا: يتم منح الاستثناء بعد التأكد من ان الضرر الناتج (Detriment) من استعمال المصدر او العمل يكون قليلا. ان التوصل الى هذا القرار يستند الى المعلومات والخواص التالية

1 ـ الخواص الكيمياوية والفيزياوية والمواصفات التصميمية للمصدر او السلعة المستعملة وتشمل كذلك المعلومات المتعلقة بالنشاط الاشعاعي الكلي (Total activity) او الفعالية النوعية (Specitic activity) للمواد المشعة والجرع الاشعاعية القصوى على مسافة معينة من المصادر المشعة المغلقة او الاجهزة المولدة للاشعاع حيث تحسب الطاقة والكمية القصوى للاشعاع المتولد من الاجهزة.

2 ـ التوزيع والاستعمال والردم.
3 ـ استعمال المنتوج ونوع العمل ووجود طرائق بديلة عنه.
4 ـ الكمية المتوقعة للتوزيع منه.
5 ـ الكمية المتراكمة المتوقعة نتيجة الحلقة الطويلة من التوزيع والاستعمال.
6 ـ الجرع الاشعاعية المتوقعة للافراد بالاضافة الى الجرع المتجمعة الناتجة من الاستعمالات في الحالات الطبيعية والحوادث.
7 ـ احتمالية ضمان حالة المنتوج مثل السيطرة النوعية او فحص النموذج الابتدائي (Prototype testing) للمنتوج

مصادر الاشعاع المستثناة

ان من الممكن استثناء بعض المصادر من قبل الجهات المختصة ويشمل ذلك

1 ـ اجهزة توليد الاشعاع التي تولد طاقة اشعاعية كمية لا تتجاوز 5 KeV ،
2 ـ المواد المشعة التي تشابه حالتها ما هو موجود في الطبيعة دون ان تجري عليها عمليات لزيادة تركيز المواد المشعة .
3 ـ تضع دول متعددة استثناءات خاصة بها من الممكن الاستفادة منها من قبل السلطات الوطنية لوضع شروط الاستثناء من منح الاجازة وقد اصدرت هيئة الوقاية في العراق شروطا مشابهة .

منح الاجازة

ان منح الاجازة يلزم صاحب المصدر المشع التقيد بالتعليمات الصادرة من السلطات الوطنية بالتقيد بالقوانين والانظمة والتعليمات الخاصة بالوقاية من الاشعاع الصادرة من السلطات الوطنية والمؤسسات التابعة لها وفيما يخص العراق فان القانون الصادر في سنة 1980 حول الوقاية من الاشعاع قد انشأ مركزا يدعى مركز الوقاية من الاشعاع لغرض متابعة تنفيذ القانون.

4.8 الوقاية من الاشعاع في مجال التعرض المهني

تطبق المبادىء الاساسية لوجود المبرر والوصول الى الحالة المثالية وتحديد الجرع على التعرض المهني. ان الجرع المتجمعة الناتجة من كل عملية تشغيلية يجب ان تخفض الى اقل ما يمكن عمليا وان كل عامل في حقول الاشعاع يجب ان يحمى وذلك بتطبيق حدود مكافىء الجرع الواردة في هذا الفصل ولا يجوز الاستعانة عن توفير اسس الوقاية من الاشعاع بالتعويضات والامتيازات للعاملين في حقول الاشعاع.

1.4.8 واجبات ادارة المنشأة

ان على ادارة المنشأة او المشروع الذي يتضمن تعرضا للاشعاع خاضعا للاجازة بموجب القوانين المرعية وضع وتطبيق برنامج للوقاية من الاشعاع يعتمد هذا البرنامج على سعة العمل ونوعية التعرض وهو يتراوح بين شخص مسؤول عن اعمال الوقاية من الاشعاع في المنشآت الصغيرة الى مجموعة كبيرة من العاملين في مراحل توليد الطاقة الكهرونووية (اعتمد نفس المبدأ من قبل هيئة الوقاية من الاشعاع في العراق)

ان التركيز في هذا الفصل سوف يكون حول واجب ادارة المنشآت النووية في تطبيق برنامج الوقاية من الاشعاع. ان على عاتق الادارة اتخاذ الاجراءات الكفيلة لغرض تخفيض التعرض المهني كلما كان ذلك ممكنا من الناحية العملية وذلك بالسيطرة على المصادر المشعة واجهزة توليد الاشعاع وتهيئة محل ملائم للعمل. ان التأكيد يجب ان يتم على توفير ظروف السلامة في محل العمل وتأتي بالدرجة الثانية الوقاية الناتجة من تصرف العاملين انفسهم.

ان استعمال اجهزة الوقاية يجب ان يكون مكملا لأسس السلامة الاساسية المتبعة في بناء محل العمل.

أ ـ دراسة التصاميم

ابتداء من مرحلة التصاميم فان ادارة المنشأة النووية او المشروع النووي يجب ان تدرس التصاميم لغرض التأكد من انها ملائمة لغرض تطبيق برنامج ناجح للوقاية من الاشعاع. ان هذه الدراسة والمراجعة تشمل :

1ـ الدروع الواقية .

2 ـ السيطرة على المواد المشعة المطروحة .

3 ـ التهوية وتنقية الهواء .

4 ـ الاجهزة الخاصة بالاشعاع والتلوث ومراقبة الجرع والسيطرة في الحالات الاعتيادية والحوادث .

5 ـ المنظومات الابتدائية وسلامة البناء الحاوي (Containment) .

6 ـ طرائق الدخول مع الاخذ بنظر الاعتبار الحد الاقصى للاشخاص العاملين في المناطق الخاضعة للسيطرة .

7 ـ خرائط المكونات .

8 ـ كفاية المداخل ومناطق العمل والادامة .

9 ـ مبادىء التصاميم التي تسمح بالتعامل السريع ومن بعيد لغرض تفكيك وتجميع المكونات والدروع الواقية .

10 ـ الاجهزة اللازمة لاخذ النماذج اثناء الحوادث .

11 ـ الصور والخرائط وكراسات التشغيل والادامة المطلوبة في طرائق العمل لتقليل زمن التعرض .

ب ـ مراجعة الامور التشغيلية المتعلقة ببرنامج الوقاية من الاشعاع

وبالاضافة الى ذلك فان الامور التشغيلية الخاصة بالمنشأة والمتعلقة ببرنامج الوقاية من الاشعاع يجب ان تراجع بصورة دورية نتيجة الخبرة المكتسبة وكذلك فيما اذا حدث تحوير في المنشأة او اذا نشأت متطلبات خاصة نتيجة التعليمات الصادرة من السطات المسؤولة والمتطلبات الجديدة .

جـ ـ تعريف المتنسبين بقواعد الوقاية من الاشعاع

ان على عاتق ادارة المنشأة كذلك القيام بـالترتيبـات اللازمـة لغرض تعريف منتسبي المنشأة النووية او المشروع النووي واعطاء معلومات كافية عن قواعد الوقاية من الاشعاع.

د ـ توفير الاجهزة اللازمة

ان على عاتق الادارة كذلك توفير كميات كافية من الاجهزة والمختبرات الخاصة بالوقاية الفردية لغرض مراقبة التعرض الخارجي والتعرض الداخلي للمنشأة والبيئة.

هـ ـ توفير الفحوصات الطبية

ان على ادارة المنشأة ان تـوفر الفحـوصات الـطبية للعـاملين حسب متطلبات السلطات المسؤولة.

و ـ التأكد من الصلاحية للعمل

تقوم ادارة المنشأة النووية بالتأكد من ان جميع الاشخاص العاملين في الموقع سواء اكانوا تابعين لها ام لجهات اخرى اولئك الذين ينسبون للعمل في مناطق الاشعاع بصـورة مؤقتة يجب ان يكـونوا صـالحين للعمـل في حقول الاشعاع. ان على عاتق ادارة المنشأة النووية تبليغ الجهة التي يعمـل بعض العاملين في الموقع بمعيتها عن تعرض هؤلاء العاملين للاشعاع

س ـ وضع الطرائق الكفيلة بتطبيق برنامج الوقاية من الاشعاع

ان على عاتق ادارة المشروع النووي او المنشأة ان تضع الطرائق الكفيلة بمراجعة تطبيق برنامج الوقاية من الاشعاع وتتأكد من ان اغراضه قد حققت. ان المراجعة يجب ان تتضمن الحوادث الاشعاعية والتعرض العالي للاشعاع والسيطرة على طرح النفايات المشعة.

ص - انشاء مجموعة الفيزياء الصحية (Health Physics group)

لغرض التأكد من تطبيق برنامج الوقـاية من الاشعـاع من قبل ادارة المنشأة يجب ان تكون مجموعة الفيزياء الصحية مطلعة على تصاميم المشروع وعن السلامة الاشعاعية الخاصة بالتشغيل بالاضافـة الى ذلك فـان مسؤول الفيزياء الصحية يجب ان يكون موقعة الاداري بمستوى يؤهله لاعطاء المشورة الى الادارة حول كفاءة برنامج الوقاتية من الاشعاع وان يكون اتصاله الاداري بمستوى السلطة يساعد على وضع وتطبيق اساليب السلامة.ان بعض برامج الوقايـة مـن الاشعاع تتيح لمجموعة الفيزياء الصحية المسؤولية المباشرة لضمان ان تعرض العاملين في حقول الاشعاع سوف يتبع مبدأ ALARA (يكون التعرض الى الاشعاع على اقل ما يمكن الحصول عليه منطقيا) بينما في برامج اخرى تعطى مسؤوليـة للعاملين للحـد من تعرضهم. وتقـوم مجموعـة الفيزيـاء الصحية بمراقبتهم وابداء المشورة لهم.

ان واجبات ومسؤوليات مجموعة الفيزياء الصحية ربما تتفاوت بصورة واسعة مع تنظيم المنشآت والقوانين السائدةومع هذا فانه في تطبيق برنـامج الوقاية من الاشعاع تكون مسؤولية وواجبات مجموعة الفيزياء الصحية تتضمن اعتياديا ما يلي :-

1 - القيام بالترتيبات اللازمة لمراقبة تعـرض العاملين الخـارجي والداخـلي للاشعاع ومراقبة الاشعاع في الموقع.

2 - تحديد وتصنيف مناطق العمل ومراقبتها بصورة دورية .

3 - القيام بوضع الحدود المصدرية والمستويات عـلى ضوء الخـبرة المكتسبة وحسب متطلبات السلطات المسؤولة التي تنطبق على تعرض العاملين الداخلي والخارجي للاشعاع

4 - مراقبة تطبيق التوصيات الطبية الخاصة بالعاملين في موقع المنشأة النووية وابلاغ ادارة المنشأة عن مخالفة ذلك

5 - مراقبة تنفيذ العاملين في المنشأة النووية لقواعد الوقاية من الاشعاع .

6 - المساهمة في وضع الخطط الخاصة بالفعاليات التي ربما ينتج عنها تعرض ،

العاملين في المنشأة الى حدود تفوق الحدود المصدرية الموضوعة

7 ـ التأكد من ان التعليمات الخاصة بتداول النفايات المشعة مطبقة

8 ـ المساهمة بدراسة تعرض الافراد للاشعاع بجرع اشعاعية تفوق الحدود المسموح بها في الحالات غير الاعتيادية والطوارىء

9 ـ ايصال المعلومات بصورة سريعة وملائمة وهي الخاصة بالمشاكل التي لها تأثير في السلامة الاشعاعية الملاحظة خلال انشاء وبدء واستمرار التشغيل بحيث يمكن تنفيذ التغيرات المرغوبة والتحسينات

10 ـ تحضير والمحافظة على جميع السجلات الخاصة ببرنامج الوقاية من الاشعاع.

11 ـ ابلاغ ادارة المنشأة عن اية جرع شخصية تتجاوز الجرع المحددة

12 ـ وضع برنامج لمراقبة البيئة والتأكد من تنفيذه قبل التشغيل واثناء التشغيل

13 ـ وضع حدود مصدرية مشتقة لطرح المواد المشعة في البيئة على ضوء خواص الموقع واستنادا الى متطلبات السلطات المختصة

14 ـ تثبيت طرائق عمل خاصة بالوقاية من الاشعاع والاستمارات الخاصة بذلك

15 ـ وضع ضوابط عمل واجهزة الوقاية اللازمة للاعمال في حقول الاشعاع

16 ـ وضع اسس التعامل مع المواد المشعة وخزنها في الموقع

17 ـ التعاون مع الجهات المسؤولة لوضع سياقات الطوارىء والتحضير لهذه الحالات والمساهمة بتنفيذها

18 ـ توفير الاجهزة بالاعداد الكافية والخاصة بقياس الجرع الشخصية والكشف عن الاشعاع والقياسات والتحاليل

19 ـ تحديد وتوفير الاجهزة الخاصة بالطوارىء لاغراض الوقاية من الاشعاع

20 ـ اختيار وتدريب كادر الفيزياء الصحية

21 ـ تدريب جميع كوادر المنشأة النووية حول اساليب الوقاية من الاشعاع

واجراءاتها كل حسب عمله وتوفير المعلومات الخاصة بالتدريب
22 ـ مراجعة المستويات المصدرية لتعرض العاملين في حقول الاشعاع ولطرح النفايات المشعة على ضوء الخبرة والتجربة المتراكمة ومواكبة التطورات العالمية

2.4.8 النواحي العملية الخاصة لتطبيق برنامج الوقاية من الاشعاع

ان نظام تحديد الجرع يتطلب الاخذ بنظر الاعتبار الوقاية من الاشعاع خلال التصميم والتشغيل لغرض الحفاظ على الجرع الاشعاعية اقل ما يمكن مع الاخذ بنظر الاعتبار العوامل الاقتصادية والاجتماعية ولغرض الوصول الى هذا الهدف يجب دراسة اساليب العمل والفعاليات من ناحية امكانية تقليل الجرع الناتجة من تلك الفعاليات

1 ـ طرائق تخفيض الجرع عند التصاميم

أ ـ تقليل مستوى الاشعاع في مناطق العمل بواسطة اخذ هذا العامل بنظر الاعتبار عند تصميم المنشأة وذلك بواسطة اختيار المواد وتوفير التدريع (Shielding)

ب ـ تقليل التلوث السطحي والتلوث المحمول جوا وذلك عن طريق التصاميم وعن طريق اساليب السيطرة.

جـ ـ تقليل زمن تعرض العاملين بواسطة اختيار المكونات واختيار طرائق العمل والتدريب على الادامة.

2 ـ طرائق تخفيض الجرع عند التشغيل

بالاضافة الى ذلك فان من الممكن اتباع طرائق اخرى خلال مرحلة التشغيل تؤخذ بنظر الاعتبار اية خواص للسلامة وفرت عن طريق التصميم. ان مثل هذه الطرائق تتضمن :

أ ـ الاستعمال المناسب للاجهزة الذاتية والاجهزة التي يسيطر عليها من بعيد (Remote – controlled equipments) .

ب ـ استعمال الدروع الواقية المؤقتة ؛

جـ ـ اعداد طرائق العمل والادامة بصورة جيدة .

د ـ اعداد اساليب السيطرة على التلوث الاشعاعي .

هـ ـ اصدار تصاريح العمل .

و ـ التدريب الاساسي واعادة التدريب الدوري المتعلق باخطار الاشعاع والوقاية من الاشعاع بالاضافة الى التدريب الخاص للاعمال المحددة مثل التمارين على الاساليب.

ان اساليب السيطرة الاشعاعية تتضمن تصنيف العاملين في حقول الاشعاع الذين هم في موقع المنشأة النووية وتصنيف مساحات الموقع استنادا الى الحالة الاشعاعية التي ربما تكون موجودة. ان اساليب السيطرة هذه توفر السبل لكي يكون الاشراف (Surveillance) والمراقبة (Monitoring) للعاملين في حقول الاشعاع متوفرين عندما تكون هنالك ضرورة لذلك ولغرض السيطرة على الدخول الى المناطق التي ربما يحدث فيها تعرض للاشعاع.

ان تعاون العاملين في حقول الاشعاع وتفهمهم للوقاية من الاشعاع يعتبر ذا اهمية اساسية لغرض الوصول الى هدف تقليل تعرض العاملين الوظيفي الى الاشعاع.

3 ـ تصنيف ظروف العمل

لغرض تطبيق المبادىء الاساسية للوقاية من الاشعاع فانه يتميز نوعان من ظروف العمل الوظيفي في حقول الاشعاع وهما

1 ـ ظروف العمل آ

ـ وهي الظروف التي ربما يزيد التعرض السنوي للاشعاع فيها على 3/10 من حدود مكافىء الجرع. ان العاملين تحت ظروف هذه الاعمال سوف يكونون خاضعين للمراقبة الطبية والتقدير الفردي لمكافىء الجرع. ان تقدير مكافىء الجرع يتم بواسطة مراقبة التعرض الخارجي والتعرض الداخلي للاشعاع كلما كان ذلك مناسبا وقد يحدث ان هذه المراقبة تتم بالطرائق غير المباشرة.

2 ـ ظروف العمل ب

وهي الظروف التي يكون احتمال تجاوز التعرض السنوي 3/10 مكافىء الجرع ضئيلا جداً.

لا يجوز السماح بالدخول للعاملين او الطلاب او المتدربين ممن تقل اعمارهم عن 18 سنة الى المناطق التي تسود فيها ظروف العمل آ. يسمح للعاملين والطلاب والمتدربين الذين تتراوح اعمارهم بين 16 – 18 سنة بالعمل في المناطق التي تسود فيها ظروف العمل ب. لا يمكن اعتبار اي شخص يقل عمره عن 16 سنة عاملا في حقول الاشعاع لاغراض مبادىء الوقاية من الاشعاع.

عندما يكون مصدر التعرض مرتبط بالعمل او عندما يكون العمل في منشآت لا تحتوي على مصادر اشعاعية تعطي تعرضا فانه تنطبق في هذه الحالات الحدود الموضوعة للسكان.

4 تصنيف العاملين في حقول الاشعاع

لغرض تبسيط الترتيبات الخاصة بالاشراف الطبي (Medical supervision) والمراقبة الفردية (Individual monitoring) فانه قد يكون مناسبا تصنيف العاملين وعلى سبيل المثال فان ذلك قد يمكن ان يتم وفق ظروف العمل الذي يقومون به وفي التطبيق فانه قد يتم كذلك فيما يخص المناطق التي يعملون فيها ونوع العمل الذي يقومون به واذا كان تقدير ذلك معتمدا عليه بما فيه الكفاية وكذلك الزمن المستغرق في مثل هذه المناطق.

ان العاملين الذين يطلبون للعمل في حقول الاشعاع في المناسبات فقط مثل اعمال الصيانة والتصليح يجب ان تنطبق عليهم نفس المتطلبات التي تنطبق على العاملين في حقول الاشعاع بصورة منتظمة والخاصة بالمراقبة وتسجيل الجرع والاشراف الطبي كما يجب ان يعطوا تعليمات مناسبة حول الوقاية من المخاطر الاشعاعية المتضمنة. ويجب التأكد من ان الوقاية المتوفرة لهؤلاء العاملين في المناسبات تكون بنفس الجودة للوقاية من الاشعاع المتاحة للعاملين بصورة منتظمة في حقول الاشعاع وان تعرض هؤلاء يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار في التخطيط النهائي للوصول الى الحالة المثلى للوقاية من الاشعاع في المنشأة النووية. ان العاملين في موقع المنشأة النووية في المناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة ربما يصنفون على النحو الاتي:

أ ـ الاشخاص الذين من المحتمل ان يتسلموا مكافىء جرع مؤثرة تتجاوز جزءاً معينا محدداً من قبل السلطات المسؤولة لحدود مكافىء الجرع المؤثرة السنوية [ان هذا الجزء يبلغ 3/10 من حدود مكافىء الجرع المؤثرة السنوية للتعرض الوظيفي والتي تبلغ 50 mSv (5rem) . ولقد اوصت هيئة الوقاية من الاشعاع في العراق بنفس هذا التصنيف، ان هؤلاء العاملين يجب ان يوفر لهم الاشراف الطبي الملائم وان توفر لهم المراقبة الفردية.

ب ـ العاملين في حقول الاشعاع الذي تكون احتمالية تجاوزهم لجزء معين من مكافىء الجرع المؤثرة السنوية المخصص للمجموعة التي في أ ضئيلة جدا. ان هؤلاء الاشخاص سوف لا يزودون بالمراقبة الفردية.

لا توجد هنالك ضرورة فيما يخص الاشخاص الذين في موقع المنشأة النووية والذين لا يعملون في المناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة لوضع ترتيبات خاصة للوقاية من الاشعاع.

يجب الاحتفاظ بسجلات الجرع لكل الاشخاص الذين روقبوا كما هو وارد هنا حسب متطلبات السلطات المسؤولة.

5. حساب الجرع

يجب ان تكون هنالك طريقة حفظ سجلات الجرع فيما يخص الاشخاص الذين يعملون في المناطق المراقبة لمنشآت متعددة. ان على عاتق السلطات المسؤولة (هيئة الوقاية من الاشعاع في العراق مثلا) وضع الاساليب التي تمكن ذلك. ان هذه السجلات تمكن ان تساعد في

أ ـ معرفة العاملين في حقول الاشعاع والادارات التي يعملون ضمنها بمكافىء الجرع الفردية المتسلمة خلال القيام بالعمل في المنشآت المختلفة.

ب ـ معرفة ادارة كل منشأة تشغل هؤلاء العاملين بمكافىء الجرع الفردية لهؤلاء العاملين للسنة التي يشتغلون فيها من بداية عملهم وتلك المتسلمة خلال عملهم في هذه المنشآت. ويجب اعطاء المعلومات الى العاملين حول الجرع الاشعاعية التي تسلموها كما انه يجب الاحتفاظ بتقديرات الجرع الفردية لمدة لا تقل عن 30 سنة من تاريخ التوقف عن العمل في حقول الاشعاع المؤين او الفترة التي تحدد من قبل السلطات المسؤولة.

ان حدود مكافىء الجرع وحدود مكافىء الجرع المؤثرة للطلاب والمتدربين الذين اخذوا دروسا في الاشعاع واستعمالاته تشابه الحدود الموضوعة للعاملين في حقول الاشعاع. ان وقاية المتدربين والطلاب يجب ان تتم كما هي الحالة للعاملين وظيفيا في حقول الاشعاع وان المراقبة الفردية والاشراف الطبي يتم في كل الحالات.

اما المتدربون والطلاب الذين لا يأخـذون دروسا متعلقـة بالاشعـاع واستعمالاته فان حدود مكافىء الجرع وحدود مكافىء الجرع المؤثرة لهم سوف تكون مساوية الى افراد المجتمع ومع هـذا فان المسـاهمة في مكـافىء الجرع السنوية ومكافىء الجرع المؤثرة السنوية التي لها علاقة بتدريبهم او دراستهم يجب ان لا تزيد عن 1/10 هذا الحدود.

ان مراقبة جرع الافراد يجب ان تخضع لمتطلبات السلطات المسؤولة. ان المراقبة يجب ان توفر للعـاملين في الصنف (آ) وانه لا تكـون بصورة عـامة ضرورية للعاملين في الصنف (ب) من العاملين في مواقع المنشآت النووية. ان الاشخاص من الصنف (آ) او الصنف (ب) الذين يدخلون الى المناطق المراقبة (Controlled area) يجب ان يزودوا بواحد او اكثر من مقاييس الجرع. اما الاشخاص الذين يدخلون المناطق المراقبة بصورة قليلة مثل الزوار او العاملين في الموقع من غير صنف (آ) وصنف (ب) فأنهم لا يحتاجون الى مراقبة فردية.

ان الجـرع الى العاملين في المـوقع يجب ان تفحص بـواسطة مـراقبة الاشخاص ومواقع العمل بطريقة مناسبة. وعندما يتسلم الافـراد اشعاعـا خارجيا وان الاشعاع يكون موزعاً بصورة منتظمـة على جسمـه فان قـراءة مقياس الجرع الشخصية المحمول على الجسم بصورة ملائمة ربما يؤخذ على انه يمثل مكافىء الجرع المؤثرة وفي حالة المعرفة او الشك بان التعرض الخارجي للفرد يكون غير منتظم بدرجة كبيرة فانه يتطلب تقديرا خاصا للجرع لذلك الجزء من الجسم. ان ذلك يتطلب مقياس جرع اضافي يحمل في مناطق مناسبة من الجسم [مقيـاس جرع الـوميض الحـراري (TLD) مثـلا] ان الافـراد العاملين في الموقع الذين يعملون في ظروف يتوقـع ان يحدث عنهـا تعرض خارجيا ملموس يجب ان يراقبوا بصورة ملائمة. ان هذه المراقبة يجب ان تتم بصورة روتينية او بصـورة متقطعـة استنادا الى ظـروف العمل. ان التلوث الداخلي يجب ان يخمن بالطريقة المباشرة كلما كان ذلك ممكنا وذلك باستعمال الـ Bioassay وعـداد عموم الجسم (Whole body counting) او حسـاب الفعالية في جزء من الجسم كالغدة الدرقية او الرئة واذا لم يكن ممكنا القيام بمثل

هذه القياسات انياً فان طرائق اخرى تستند الى حسابات التناول يجب ان تستعمل بصفة تقريب. ان نتائج هذه المراقبة يجب ان تقدر بواسطة مقارنة المتناول مع وحدود التناول السنوية او بواسطة حساب مكافىء الجرع (Commit- ted dose equivalents) وفي حالة التعرض الخارجي والتعرض الداخلي مجتمعا فانه من الممكن مقارنة ذلك حسب ما جاء بتوصيات الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع ICRP Publication 26 لسنة 1977 (المصدر 48) ومبادىء الوقاية الاساسية من الاشعاع (Basic Safety Standard For Radiation Protection) لعام 1982 (المصدر 44) ان الافلام او الزجاج (RPL) او مقاييس جرع الوميض الحرارية (TLD) هي انواع مقاييس الاشعاع المحمولة كاجهزة قياسية لغرض مراقبة وقياس الجرع الفردية الناتجة من الاشعاع الخارجي. ان هذه تستعمل لحساب مكافىء الجرع مع قراءات تكاملية لفترة زمنية تكاملية (المصدر 41)

ولغرض تقدير الجرع ومن ثم السيطرة عليها خلال القيام بعمل معين فان مقاييس الجرع الاساسية هذه يمكن ان تعضد كلما كان ذلك مناسبا بمقاييس جرع فترات قصيرة (Short – term dosimeters) عادة من نوع القراءة المباشرة مثل افلام قياس مستوى الاشعاع (Electrometers) وفي بعض الحالات يفضل استعمال اجهزة معدل جرع فردية (Personnel dose rate devices) او منبهات جرع (Dose – alarm devices) يكون لها منبه واضح ويكون لها مقياس رقمي (Digital display) للجرع المتراكمة بدلا من مقاييس الجرع ذات القراءة الانية البسيطة.

ان مقاييس الجرع هذه يجب ان تحمل بطريقة تعطي قراءات ذات معنى للتعرض المقيس (تعرض عموم الجسم او الايدي) ان مقاييس الجرع المختارة يجب ان تكون قابلة للاستجابة لنوع او انواع الاشعاع اللازم قياسه وان هذه الاستجابة يجب ان لا تكون متأثرة بالعوامل البيئية الاخرى. كما ان حساسيتها يجب ان تكون بدرجة تقل كثيرا من المستوى المصدري الذي يلزم قياسه. ان مقاييس الجرع تختار عادة لتغطية جميع مجال التعرض المهني. ان مقاييس الجرع

ذات المجال الاوسع يجب ان تستعمل عندما يكون معدل الجرع عاليا او عندما تكون هنالك خطورة عالية للتعرض العالي الناتج من الحوادث. ان دقتها يجب ان تكون مناسبة للمقاييس الموضوعة او للمتطلبات.

ويجب ان يتم تشخيصها بصورة مفردة وان تحفظ سجلات مناسبة حول تاريخ اعطائها.

وعندما تسمح اساليب العمل الموضوعة لبعض الاشخاص كالزوار بالدخول الى المناطق المسيطر عليها دون حمل مقياس جرع فردي فأن الجرع المتسلمة من قبل هؤلاء الاشخاص يمكن ان تخمن اما على ضوء معدل الجرع والزمن المستغرق في الزيارة للمناطق المختلفة او بواسطة الاستناد الى مقياس الجرع للشخص المرافق لهم.

ان تقدير الجرع الناتجة من مقاييس الجرع لفترة طويلة يجب ان يتم من قبل مؤسسة مخولة (مركز رعاية صحية او مختبر مركزي ضمن المنشأة او مؤسسة تجارية معترف بها) ويقوم بذلك مركزيا في العراق مركز الوقاية من الاشعاع ما عدا بعض الاستثناءات.

ان مقاييس الجرع لفترة طويلة يجري تقديرها عادة مرة واحدة كل عدة اسابيع ولكن في حالة المعرفة او الشك بتجاوز الحدود المسموح بها او التعرض العالي للاشعاع فانه يمكن تقدير مقاييس الجرع كلما كان ذلك عمليا.

واذا فقد مقياس الجرع ذو الوقت الطويل للشخص قبل ان يتم تسجيل تعرضه او اذا كانت المعلومات المتوفرة تجلب الشك لاي سبب فانه من الضروري تخمين جرع التعرض الخارجي باستعمال كل المعلومات المتاحة التي يمكن ان تتضمن

1 - جمع قراءات مقاييس الجرع الفترة قصيرة لتلك الفترة.

2 - القيام بالحسابات على اساس معرفة المجال الاشعاعي (معدل الجرع) وزمن البقاء (زمن التعرض) والتقديرات المستندة على العمل المقضي وعلى قراءات مقاييس الجرع للاشخاص الاخرين الحاضرين.

3 ـ الفحص الطبي مثل فحص مكونات الدم او انسجة الجسم (ان هذه توفر معلومات ذات معنى فقط في حالة الشك بالتعرض العالي للاشعاع).
4 ـ الاساليب الاخرى المطلوبة من قبل القانون او السلطات المسؤولة.

5.8 المراقبة الطبية للعاملين (Medical Surveillance)

ان على عاتق ادارة المنشأة النووية توفير الرعاية الطبية للعاملين والتأكد من تنفيذ البرنامج الخاص بذلك. ان مثل هذه الرعاية الطبية للعاملين المعرضين الى الاشعاع تستند الى المبادىء العامة للطب المهني (Occupational medicine) وهي تأخذ بنظر الاعتبار ظروف التعرض السابقة والحالية للمواد الكيمياوية السامة والى الظروف الفيزياوية الخطرة المحتملة. ان اي عامل في حقل الاشعاع لا يجوز ان يعمل خلافا لمشورة طبية مؤهلة.

ان الغرض من الاشراف الطبي ليس اثبات كفاءة برنامج الوقاية من الاشعاع.

ان على ادارة المنشأة النووية وباستشارة الطبيب المختص ان تقوم باتخاذ الاجراءات اللازمة لارسال الشخص المتعرض الى الاشعاع او الى التلوث بالمواد المشعة او انه يشك بانه قد تجاوز الحدود السنوية الى المؤسسات الطبية في مرحلة مناسبة. ان هذه الترتيبات يجب ان تعرف بوضوح وان تكون معلومة من قبل السلطات المسؤولة والعاملين.

ان سجلات نتائج الفحوصات الطبية يجب ان تتضمن كل المعلومات اللازمة لتقدير صحة العاملين.

ان التأثيرات الضارة لم تثبت بصورة مؤكدة ملازمتها للتعرض ضمن حدود مكافىء الجرع. وفي حالة الشك او معرفة بان هذه الحدود قد تم تجاوزها نتيجة التعرض الى جرع عالية فان الاشراف الطبي يمكن ان يؤدي دورا مؤكدا في تقدير التعرض العالي وان يقوم بالتوصية بالعلاج الطبي المناسب. ان اغراض الاشراف الطبي للعاملين يتضمن مايلي

1-تقدير صحة الافراد العاملين في حقول الاشعاع .

2 ـ المساعدة في التأكد في البداية وبصورة مستمرة ملاءمة صحة الافراد لظروف عملهم.

3 ـ اعطاء معلومات اساسية (Base line information) تكون مفيدة في حالة التعرض الوظيفي او النابع عن الحوادث للاشعاع.

ان الاشراف الطبي يتضمن الفحص قبل التنسيب للعمل في مناطق الاشعاع وبعدها الفحوصات الروتينية التي تلي ذلك.ان على ادارة المنشأة النووية الاستفادة من خدمات طبيب درب بصورة خاصة في الطب الصناعي والطب الاشعاعي والذي اجيز من قبل السلطات المسؤولة لاعطاء النصيحة والاشراف على الفحوصات الطبية ومعالجة اي شخص متعلق بحادثة اشعاعية. ان الطبيب المعين في المنشأة النووية يجب ان يكون قادراً على الوصول الى المعلومات ويتضمن ذلك الوصف المفصل اللازم للتأكد من ان صحة العاملين تحت المراقبة ولغرض تقدير ظروف البيئة في مناطق العمل التي ربما يؤثر في صحة العاملين. ان على ادارة المنشأة النووية التأكد ان الفحوصات الوظيفية الطبية العامة خلال فترة التوظيف قد تمت بصورة دورية وعند ايقاف التوظيف لتلك الظروف المحددة من قبل السلطات المختصة وعندما يشك بحدوث مرض جراء الوظيفة فان الرعاية الطبية يجب ان توفر بصورة مناسبة.

ان الرعاية الطبية الخاصة ربما يحتاج لها كما هو موضح من قبل السلطات المسؤولة تحت ظروف العمل (آ) وبالاستناد الى ظروف عمل هذه المجموعة. ان مثل هذا النوع من الفحص يجب ان لا يكون سببا للتعويض عن اي جزء من المراقبة الفيزياوية وان لا يؤدي اي دور للتأكد من فعالية برنامج الوقاية من الاشعاع.ان احد اهداف الفحص الطبي هو تحديد الظروف او الخواص التي ربما تتطلب تحديدات اخرى تطبق على نوع التعرض المتسلم من قبل العاملين. وفي هذا الفحص فانه يجب ان يهتم بصورة خاصة بالتاريخ الطبي

للافراد ويتضمن التعرض التشخيصي والعلاجي الى الاشعاع ولغرض تمييز الظروف التي يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار للحد من تعرضه للاشعاع او تنسيبه للعمل.

ان الطبيب المشرف يقوم بتقدير الحاجة الى استعمال الملابس الواقية واجهزة التنفس للاشخاص الذين تتطلب واجباتهم ذلك كعلاقة ذلك باهليتهم الطبية للعمل.

وبصورة عامة فان المعلومات الطبية الخاصة حول الافراد تكون سرية ولكن مع هذا فان الطبيب يجب ان يثبت (Sertify) لادارة المنشأة النووية ما اذا كان العامل في حقل الاشعاع مؤهلا طبيا للقيام بالعمل وفق متطلبات السطات المختصة (في العراق تقوم اللجنة الطبية المؤلفة بموجب القانون رقم 99 لسنة 1980 بهذا الغرض.)

6.8 تصنيف مناطق العمل (Classification of site area)

ان جميع مناطق موقع المنشأة النووية التي يؤدي الاشغال المستمر فيها خلال عمليات التشغيل الاعتيادية اوعمليات التشغيل المؤقتة التي يكون التعرض فيها بما يزيد عن القيم المحددة من قبل السلطات المسؤولة يجب ان تحدد وان تصنف بطريقة مناسبة حسب متطلبات السلطات المسؤولة التي تبلغ عادة 1/10 حدود مكافىء الجرع للتعرض المهني (5 mSv) اي 0.5 rem سنويا ان تصنيف مناطق العمل يعتمد على التعرض المحتمل للاشعاع وعلى مقدار المحاذير والمراقبة بالاضافة الى نوعيتها وطرازها الذي يجب ان يكون ملائما من ناحية المقدار والطبيعة الخاصة للتعرض الى الاشعاع المرافق للعمل.

1.6.8 المناطق المسيطر عليها (Controlled area)

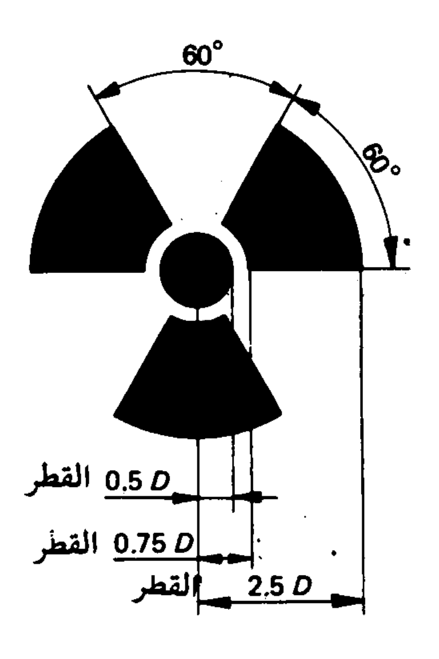
وهي المناطق التي يحتمل ان يتجاوز فيها التعرض الوظيفي جزءاً معينا يبلغ 3/10 حدود مكافىء الجرع السنوية الموصى بها للتعرض المهني والبالغة 50 mSv (5rem) سنويا. ان دخول العاملين الى هذه المناطق المسيطر عليها يكون عرضة لتعليمات التشغيل. ان تحديد هذه المناطق يجب ان يستفيد من الحدود الهيكلية عادة التي تتوفر فيها ظروف العمل الاشعاعي الواردة في التحديد. ان باستطاعة ادارة المنشأة النووية تمديد حدود المناطق المسيطر عليها الى اي مدى تعتقد انه ضروري وعملي. ان احد اسباب عمل ذلك هو تقليل عدد المناطق المسيطر عليها ومن ثم تأمين ادارة ناجحة لبرنامج الوقاية من الاشعاع.

ان الهدف الاساسي من تسمية المناطق المسيطر عليها هو التأكد من ان الاشخاص يسمح لهم بالدخول فقط عندما يخضعون للطرائق المتعلقة بمراقبتهم بصورة مناسبة وعندما يكون ذلك ضروريا فان تعرضهم يمكن ان يحدد عن طريق تحديد فترة تواجدهم. وفي بعض اماكن المنطقة المسيطر عليها فان اطاعة الحدود الموضوعة يمكن ان يحصل عليها فقط عن طريق تحديد الزمن المقضي في تلك الاماكن او بواسطة استعمال بعض الاجهزة الوقائية. ولهذا فانه يصبح مناسبا تعريف المساحات (Zones) لرتب متعددة ضمن المنطقة المسيطر عليها. إن بعض هذه المساحات تتطلب شروطا مفصلة للدخول. ان الدخول الى هذه المناطق يمكن ان ينظم عن طريق الادارة بواسطة اصدار تصاريح عمل في حقول الاشعاع.

ان المناطق المسيطر عليها يمكن ان تعلم بعلامات تحذيرية موضوعة في المدخل وضمن المنطقة. ان هذه العلامات التحذيرية تتضمن:

1 ـ الرمز الاساسي الذي في الشكل (2.8) الذي يرمز الى الاحتمال او الوجود الفعلي للاشعاع المؤين.

2 ـ كتابات اضافية او الوان او رموز ربما تكون متطلبة للدلالة بطريقة مفهومة من قبل كل المعنين على مقدار وطبيعة الخطر من التعرض.



الشكل 2.8 رمز الاشعاع المؤين
المصدر IAEA (1982) 44

اسس تحديد المناطق المسيطر عليها

هناك اساليب مختلفة تتبع في بعض البلدان وكذلك ايضا هناك خبرة مختلفة وتصميم منشآت مختلف ولهذا فان انواعا من المساحات سوف تكون مختلفة تبعا لذلك. ان احد الامثلة على السيطرة على المساحات المختلفة ربما يتم تحديده على النحو الاتي :

1 ـ **المساحات الملوثة** (Contaminated zones)
حيث تتطلب الحاجة اجراءات وقائية خاصة بسبب وجود تلوث او

التلوث السطحي غير المستقر الزائد عن المستوى المصدري (المستوى الذي تحته يعتبر التلوث الداخلي ضئيلا)

2 ـ المساحة الاشعاعية 3 (Radiation zone 3)

حيث يمنع الدخول اعتياديا بسبب الاشعاع العالي او التلوث ولكن ربما يسمح به تحت ظروف خاصة (ايقاف المفاعل) الذي يحدد بتعليمات التشغيل

3 ـ المساحة الاشعاعية 2 (Radiation zone 2)

حيث يتم التأكد من اطاعة حدود الجرع للتعرض الخارجي فقط بواسطة الحد من زمن العمل.

4 مساحة الاشعاع (Radiation zone 1)

جميع المناطق الاخرى ضمن المنطقة المسيطر عليها.

العمل في المناطق المسيطر عليها

ان المناطق المسيطر عليها ومناطق الاشعاع والتلوث المختلفة يجب ان تحدد بوسائل مختلفة بحيث ان الشخص الذي يعبر حدود مساحة سوف يعرف فورا بانه يدخل مساحة اخرى يكون فيها مستوى الاشعاع والتلوث مختلفا وفي مواقع مناسبة في مدخل كل مساحة يجب ان توضع اشارات تحذيرية تنص على مستوى الاشعاع ومستوى التلوث وتصنيف المساحة والمتطلبات الضرورية للدخول. كما ان الخروج من المناطق المسيطر عليها يجب ان يوضع ويؤشر بصورة كافية بالاضافة الى تعليمات مناسبة وملاحظات تظهر الاتجاه الى الخروج الاضطراري وان متطلبات المغادرة الضرورية يجب ان تحدد ويضمنها كلما كان ذلك مناسبا طرائق فحص التلوث للاشخاص وازالة التلوث.

المراقبة الفيزياوية (Physical surveillance)

ان على ادارة المنشأة النووية وضع نظام للمراقبة الفيزياوية لمعرفة الاجراءات الاحترازية التي يجب ان تتخذ للتأكد من الخضوع لنظام تحديد الجرع ولغرض تقدير كفاءة الاجراءات الاحترازية المتخذة كما ان انظمة

المراقبة والكشف يجب ان تخضع للمراجعة دوريا على ضوء الخبرة او في حالة اية تحويرات في اجراءات العمل ومن ضمنها المنشآت الجديدة او المحورة بالاضافة الى طرائق العمل المحورة او الجديدة لغرض التأكد من انها تحقق نفس الاهداف. ان مقدار الاجراءات الوقائية للوقاية من الاشعاع المتخذة يجب ان تحسب بواسطة الخطر المحتمل.

التنفيش والتدخل (Inspection and intervension)

يجب ان يوضع نظام تفتيش موضع التنفيذ من قبل السلطات المختصة لغرض الاشراف على اجراءات السلامة الاحترازية اللازمة لاطاعة المقاييس الموضوعة.

كما ان اي حالة ينتج عنها او يحتمل ان ينتج عنها جرع اشعاعية تتجاوز الحدود الموضوعة يجب ان تبلغ عنها الجهات المختصة. ان السلطات المسؤولة سوف يكون لها القوة للتدخل في حالة عدم اتباع الحدود الموضوعة.

وتتضمن المراقبة الفيزياوية للمناطق المسيطر عليها ما يلي :

1 ـ التقديرات لاغراض الموافقة على مصادر جديدة او طرائق عمل جديدة او تحوير المصادر او طرائق العمل الموجودة من ناحية الوقاية من الاشعاع.

2 ـ التأكد من انه قبل الافتتاح (Commissioning) او بدء العمل على مصدر جديد او طريقة جديدة بانها تخضع الى الفرضيات التي حصلت الموافقة عليها وان اجراءات الوقاية من الاشعاع المناسبة قد تم توفيرها.

3 ـ فحص فعالية الترتيبات الادارية المتخذة للوصول الى الوقاية وتوفير تطبيق التعليمات اللازمة للعمل.

4 ـ تقدير الكفاءة المستمرة لطرائق العمل والى فعالية اجهزة الوقاية.

5 ـ فحص الاداء والاستعمال الصحيح لجميع الاجهزة ذات العلاقة.

6 ـ تقدير مستويات التعرض والتلوث في مواقع مناسبة ضمن المنشأة وبضمنها معرفة طبيعة ومقدار الاشعاع المعني.

7 ـ توفير المراقبة المفردة للذين يعملون في ظروف العمل (آ).

ان متطلبات الدخول الى المناطق المسيطر عليها تشمل ما يلي
أ ـ الحصول على تخويل من ادارة المنشأة النووية بالـدخول او الحصول على تصريح عمل اشعاعي (Radiation work permit) في حالة تطلب ذلك.
ب ـ توفر الاشخاص المرافقين والاجهزة وكواشف مراقبة المنطقة.
جـ ـ ارتداء الملابس الواقية لتوفير الوقاية من التلوث.
د ـ الاجراءات الخاصة بالازالة السليمة للمواد الملوثة او المنشطة لغرض تقليل تعرض العاملين فان مناطق وطرق دخول محلات العمل يجب ان تحدد مسبقا وان تؤشر بصورة عملية.

ان مناطق تغيير الملابس يجب ان توفر عند مداخل هذه المناطق حيث يوجد التلوث او ربما يحتمل. ويجب ان تصمم لغرض منع انتشـار التلوث بواسطة التقسيم الى الجهة النظيفة والجهة المحتملة التلوث. ان المنشآت الموفرة يجب ان تتضمن بعض او جميع ما يلي كلما كان ذلك مناسبا.

1 ـ محلات تغيير الملابس لغرض لبس الملابس النظيفة.

2 ـ اوعية للملابس الملوثة.

3 ـ اجهزة لمراقبة التلوث الذي على الملابس والجلد وسطح الجسم.

4 ـ منشـآت ازالة تلوث الاشخـاص مثـل احـواض الغسـل والحـمامـات والتجهيزات والاجهزة.

5 ـ حاجز فيزياوي للفصل بين الجانب النظيف من الجانب المحتمل تلوثه ويجب اتخاذ الاجراءات الكفيلة للسيـطرة على الاشخـاص الذين يغـادرون المناطق المسيطر عليها للتأكد من ان ملابسهم وسطوح اجسامهم تكون اقل من مستوى تلوث معين ولكن في حالة عدم امكانيـة ازالة تلوث الى ذلـك المستوى لا يمكن الوصول اليها في المناطق المسيطر عليها فانه يجب اتخاذ ازالة تلوث خاصة او عندما يتطلب الامر رعاية طبية خاصة فان المغادرة يجب ان تتم وفق اساليب محددة.

نقل المواد من المناطق المسيطر عليها

ان جميع المواد يجب ان تراقب اشعاعيا قبل ازالتها من اي منطقة ملوثة وفي اي حالة قبل ازالتها من المناطق المسيطر عليها وانه يجب اتخاذ الاجراءات المناسبة لغرض التأكد من السلامة الاشعاعية. كما ان المنشآت الخاصة بازالة تلوث المكونات والعدد والاجهزة يجب ان توفر في المنشأة النووية، ان بعض المنشآت مثل غرف الخزن والورش الميكانيكية الصغيرة يجب ان توفر في المناطق المسيطر عليها لتقليل الحاجة لاتخاذ الاجراءات الاحترازية الخاصة اللازمة لازالة المواد الملوثة الى المناطق غير المسيطر عليها لازالة تلوثها مع توفير محل لغسل الملابس الواقية في المنطقة غير المسيطر عليها اذ يجب ان تجهز للقيام بمعاملة اكبر كمية من الملابس المتوقعة والملابس التي تكون مستويات تلوثها متقاربة يجب ان تغسل سوية وان تراقب لغرض التأكد من ان التلوث المتبقي على الملابس النظيفة يكون مقبولا ويعامل ماء الغسل الناتج على انه مواد مشعة سائلة.

تقدير الجرع الاشعاعية

ان تقدير الجرع الاشعاعية والتناول المتسلم من قبل العاملين في المناطق المسيطر عليها يجب ان يعمل على النحو الاتي

1 ـ ان الجرع المتسلمة من التعرض الخارجي يجب ان تقدر بواسطة استعمال واحد او اكثر من كواشف الاشعاع الفردية اذا كان ذلك ضروريا يحمل بصورة مستمرة بواسطة الاشخاص العاملين في ظروف العمل(آ).

2 ـ ان الجرع المتسلمة من التعرض الداخلي يجب ان تقدر اذا كان ذلك ضروريا بطرائق مناسبة تمكن من تقدير تناول المواد المشعة كما ان تكرار التقدير يجب ان يحسب ضمن البرنامج الموضوع للاستجابة الى متطلبات السلامة الاساسية للوقاية من الاشعاع.

3 ـ يجب تبليغ كل عامل عن مكافىء الجرع المتسلمة من قبله.

2.6.8 المناطق المراقبة (Supervised areas)

ان من المناسب في بعض الاحيان تعين المناطق المراقبة حيث انه يجب مراقبة البيئة في هذه المناطق كما ان حدود المناطق المراقبة يجب ان تختار بحيث ان مكافىء الجرع السنوية خارج المناطق المراقبة من غير المحتمل جدا ان يتجاوز 1/10 الحدود المهنية للجرع او 3/10 . ان المتطلب الوحيد للوقاية من الاشعاع في هذه المنطقة هو المراقبة الفردية للعاملين من الصنف (آ).

ولغرض زيادة فعالية ادارة برنامج الوقاية من الاشعاع فان حدود المناطق المراقبة تحدد اعتياديا الى سياج الموقع.

المراقبة الفيزياوية في المناطق المراقبة

ان ظروف العمل ب تتضمن جميع ظروف العمل التي من غير المحتمل جدا ان يتم تجاوز 3/10 حدود الجرع الاساسية للعاملين. وعندما لا يكون التعرض مرتبطا بالعمل او العمل في منشآت لا توجد فيها مصادر مشعة فان المراقبة (Monitoring) والسيطرة الادارية لا تكون ضرورية بما ان السيطرة على المصدر والدروع الواقية تكون كافية لضمان ان حدود الجرع المطبقة على السكان يتم ملاحظتها.

وفي مناطق العمل تحت سيطرة الادارة المسؤولة عن مصدر الاشعاع فان المراقبة الفردية تكون غير ضرورية عندما تسود ظروف العمل (ب) ولكن ربما تجرى تعضيدا لمراقبة المنطقة في المناطق المراقبة بوصف ذلك طريقة لاثبات ان ظروف العمل تكون مرضية.

وفي العمل في المناطق من المنشآت المحتوية على المصادر المشعة التي لا تكون مسيطرا عليها او مراقبة فأنه لا يتطلب مراقبة **العاملين في ظروف العمل ب**

كما ان اتخاذ القرار بتصنيف ظروف العمل الى (ب) وما يتبع ذلك من الاعفاء من المراقبة الفردية يجب ان يتم فقط في حالة وجود اسس سلامة موازية بواسطة وسائل اخرى مثل تعريض العاملين الى سيطرة ادارية شديدة مقرونة بمراقبة مناسبة لبيئة العمل.

وقد يكون من الضروري في بعض الحالات عندما يكون المجال الاشعاعي وتراكيز المواد متغيرة الرقابة الدورية لافراد مختارين يعملون في منطقة ظروف العمل (ب) لغرض اثبات مقدار الجرع المخمنة.

وبالرغم من ان المراقبة الفردية غير مطلوبة للعاملين في ظروف العمل (ب) فان الجرع المتجمعة السنوية المتسلمة من قبل مجاميع العاملين المتعرضين وظيفيا الى الاشعاع ضمن المنشأة النووية يجب ان تقدر وتسجل لغرض التمكن من تقدير الخطورة الاشعاعية لكل مجموعة.

3.6.8 المتطلبات المشتركة للمناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة

ان المناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة يجب ان تكون على النحو الاتي

1 ـ تعين وفق متطلبات الاسس الموضوعة من قبل السلطات المسؤولة.
2 ـ عرضه الى المراقبة الاشعاعية (Radiation surveillance) المناسبة.
3 ـ مجهزة بتعليمات عمل مناسبة للخطورة الاشعاعية.
4 ـ مجهزة باشارات توضح مصدر الاشعاع.
3 ـ مزودة باجهزة مناسبة لتشخيص الخطورة الناتجة من مصادر الاشعاع.
6 ـ عرضة للفحص لانظمة السلامة الهندسية وسلامة السيطرة مثل المرشحات والاقفال (Interlock)
7 ـ ان تطبيق هذه المتطلبات يتم بمساهمة اختصاصيين مؤهلين.

ان من الضروري اثبات صحة الافتراضات التي عملت عند تصنيف وتحديد مناطق العمل هذه. ان المناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة يجب ان تمسح دوريا وان تراقب دوريا كذلك للتأكد من عدم تغيير مستوى الاشعاع والتلوث او ان حدود المناطق قد وصلت الى حالة لا تكون مناسبة واذا منا اظهرت المراقبة والمسح بان الظروف قد تغيرت الى الاسوأ فانه يجب ان تتخذ اجراءات للقيام بما يلي

أ ـ تخفيض مستويات الاشعاع او التلوث الى مستويات مقبولة.

ب ـ اعادة تصنيف المساحة او المنطقة.

جـ ـ تغيير الحدود المعنية.

د ـ التأكد من ان تصنيف العاملين في الموقع لازال مناسبا.

ربما ان الظروف الاشعاعية نادرا ما تكون منتظمة خلال منطقة فان مواقع الكواشف الثابتة لتقدير النشاط الاشعاعي في الجو يجب ان يخضع للتقدير.

4.6.8 الدخول الى مناطق الموقع

ان دخول العاملين في المنشأة النووية الى مناطق المنشأة خارج المناطق المسيطر عليها يجب ان لا يحدد لاغراض الوقاية من الاشعاع.

ان منتسبي الموقع الذي يتطلب دخولهم المناطق المسيطر عليها يجب ان يخولوا بذلك وفق اساليب العمل المتبعة كما ان اطاعة متطلبات الوقاية من الاشعاع تكون احد الشروط المسبقة للدخول.

ويتم دخول المناطق المسيطر عليها عن طريق تخويل لجميع المناطق المسيطر عليها او لمناطق محددة فقط ولربما ينفذ خلال فترة زمنية او ان يسحب في حالة تغيير متطلبات الدخول ولربما منح ترخيص خاص بالدخول الى المناطق المسيطر عليها الى الاشخاص الذين لا تنطبق عليهم المتطلبات بشرط ان يكونوا برفقة شخص مخول.

كما ان الدخول الاعتيادي الى المناطق المسيطر عليها يجب ان يحدد ويفضل خلال نقطة سيطرة واحدة لغرض الحد من انتشار التلوث ولغرض المساعدة على السيطرة على التعرض وللتأكد من الاشغال في اي من مواقع العمل ويتطلب استعمال المسافة والحد من زمن التعرض تدريبا واشرافا جيدا في العمل. وفي تصميم الحقل الاشعاعي فانه يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار سهولة ازالة الدروع الواقية للتصليح ولايقاف العمل وخلاف ذلك فان الجرع الاشعاعية المتسلمة في هذه المراحل المتأخرة قد تطغى على تخفيض الجرع الحاصل خلال التشغيل.

كما ان التلوث بالمواد المشعة ربما يحد بواسطة الاحتواء والنظافة حيث يعطي الاحتواء سلامة داخلية مؤلفة واحد او اكثر من السدود ويعكس طبيعتها وعددها دالة الخطر المتوقع. لا يكون الاحتواء التام ممكنا عمليا دائما او مبررا وربما كان الاحتواء الجزئي كافيا فيما لو عزز بنظافة عالية والتهوية تؤدي دورا مهما في كلا الاحتواء والنظافة وعندما لا يمكن التخلص من تلوث مناطق العمل فان الملابس والتجهيزات الوقائية الشخصية تؤدي دورا في حماية العاملين.

7.8 التخطيط للعمل

ان احدى الوسائل المهمة جداً للحفاظ على الجرع ضمن مبدأ ALARA تكون بواسطة التخطيط المسبق في المناطق المسيطر عليها التي يكون من المحتمل وجود مستويات عالية من الاشعاع او التلوث. ان مثل هذا التخطيط للعمل يجب ان يحوي على **تعليمات مكتوبة لكل** واجب ولغرض وصف افضل السبل لانجاز العمل فان المعلومات التالية يجب ان توفر.

1 ـ تخمين مستويات الاشعاع والتلوث.

2 ـ الاجراءات الاحترازية الواجب اتخاذها لغرض وقاية العاملين ومن ضمنها الملابس الواقية واجهزة وقاية التنفس.

3 ـ التوقعات المتعلقة بوقت انجاز العمل والجرع المتوقعة مع الاخذ بنظر الاعتبار الملابس الواقية واجهزة وقاية التنفس المستعملة.
4 ـ مقاييس الجرع التي يجب حملها واجهزة المراقبة التي يجب ان تستعمل.
5 ـ قائمة بالعدد التي يجب ان تستعمل وبضمنها العدد الخاصة
6 ـ متطلبات للتأكد من الاشراف والسيطرة والتنسيق.
7 ـ الاجراءات الواجب اتخاذها لازالة المواد المشعة.
وهنالك عوامل اخرى في التخطيط للعمل هي
توضيح المسؤوليات بصورة تامة فيما يخص أمور الوقاية من الاشعاع والروابط بين مجاميع العمل المختلفة.

1.7.8 تصريح العمل الاشعاعي (Radiation Work Permits) ورمزه (RWP)

ان كل تصريح عمل يتطلب اجراءات اشعاعية احترازية يجب ان يحضر ويصدر ويلغى بالكيفية التالية
1 ـ وصف دقيق للعمل وموقعه ووقت بدئه يجب ان يدخل في تصريح العمل الاشعاعي.
2 ـ يتم تمييز الخطورة الاشعاعية من المسح الذي يجرى من قبل الفيزياوي الصحي او الاشخاص المخولين الاخرين وتدخل نتائج المسح في تصريح العمل الاشعاعي.
3 ـ وعلى ضوء المسح فان الفيزياوي الصحي او الاشخاص الاخرين المخولين سوف يحددون مقياس الجرع الذي يجب ان يحمل واجهزة المراقبة الاخرى والملابس الواقية والاجهزة والمعدات التي يجب ان تستعمل والزمن وحدود الجرع والتصرف الواجب اتخاذه في حالة تغير ظروف العمل او عند الوصول الى حدود الجرع او تجاوزها.

4 ـ يجب ان يوقع تصريح العمل من شخص مخول او الوثائق المرافقة لغرض الدلالة على ان العمل الموصوف يمكن اجراؤه بصورة سليمة في اذا اتبعت الاجراءات الاحترازية.

5 ـ ان تصريح العمل الاشعاعي يصدر عن شخص مسؤول عن العمليات او التشغيل في الوجبة الى الشخص الذي يقوم بالعمل او يشرف عليه.

6 ـ عند اكمال العمل فان الشخص الذي يقوم بالعمل او يشرف عليه يعيد تصريح العمل الاشعاعي ويثبت ان جميع الاشخاص القائمين بالعمل قد تم سحبهم. وعندئذ يقوم الشخص المسؤول عن التشغيل في الوجبة بابطال تصريح العمل الاشعاعي. ويجب الاحتفاظ بتصاريح العمل الاشعاعية بصفة سجلات حيث انه توضح اية اعمال تم انجازها ومتى ومن قبل من حيث تكون هذه المعلومات نافعة للدراسة والمراجعة وانها تكون مفيدة لغرض التخطيط لانها تمكن من حساب الجرع الفردية (الجرع المتجمعة للعمل).

استعمال الملابس الواقية واجهزة التنفس الواقية

ان العمل في المناطق الملوثة يتطلب ملابس واقية لاستعمالها في المناطق التي يوجد فيها تلوث غير مستقر بالاضافة الى المناطق التي يوجد فيها تلوث هوائي او يحتمل ان يوجد كما ان اجهزة الوقاية التنفسية ربما تكون هنالك حاجة لها. والملابس الوقائية الخاصة واجهزة التنفس تكون وفق تصريح العمل الاشعاعي ومتطلبات الدخول الاخرى وتتغير الكمية والنوع طبقا لاحتمالية مستوى التلوث. ان درجة الوقاية يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار احتمالية زيادة وقت العمل في حالة استعمال الاجهزة بالاضافة الى زيادة الجرع المتسلمة او زيادة في القوى العاملة وانه قد يكون هناك تأثير معاكس على السلامة الصناعية.

وكلما كان التلوث كبيرا دعت الحاجة الى درجة اكبر من الوقاية ومن الممكن تحقيق ذلك عن طريق ارتداء طبقة اخرى من الملابس الواقية وخاصة البدلة ذات القطعة الواحدة (Overall) واغطية الاحذية والكفوف. وعندما يغادر الفرد منطقة التلوث فان الجزء الخارجي من الالبسة الواقية يجب ان يزال وان يوضع في حاوية الملابس الملوثة المجهزة لهذا الغرض. ان التعليمات المتعلقة بارتداء الاجهزة الواقية وخلعها يجب ان توفر بالاضافة الى توفر مساعدين لهذا الغرض.

وفي حالة تطلب طبيعة خطورة التلوث المحمول جواً عزلا مؤثراً وتاماً للافراد عن بيئة العمل فانه يجب تزويد الافراد ما يلي

1 ـ ملابس يمكن ان تنفخ بالهواء ذات خواص صالحة للتنفس

2 ـ ملابس غير نفاذة (Imprevious Clothing) بالاضافة الى جهاز حاو على مستودع هواء او ان يزود بالهواء من ضاغطة هواء (Compressor)

كما ان اجهزة الوقاية التنفسية المعطاة للافراد يجب ان تكون ملائمة للنويدات المشعة المعنية. ان هذه الاجهزة يجب ان تختار لكي توفر درجة الوقاية المطلوبة ويجب ان تفحص للتأكد من الصلاحية.

وبعد كل حالة استعمال فانه يجب معاملة اجهزة الوقاية التنفسية والملابس الواقية بوصفها ملوثة وتعامل كذلك.

والعمل في مناطق الاشعاع والمناطق الملوثة يمكن ان يتطلب استعمال اجهزة وقاية خاصة لغرض الحد من التعرض مثل الدروع المحمولة (Port-able shields) واجهزة التهوية الموقعية المحمولة مع مرشحاتها والعدد المسيطر عليها من بعيد واجهزة المراقبة والاتصالات وحاويات نفايات مشعة صلبة مؤقتة وحاويات للمواد المشعة السائلة.

ان افراد الموقع يجب ان يدربوا بصورة خاصة وان يؤهلوا في استعمال الملابس الواقية واجهزة الوقاية الخاصة كلما كان ذلك مناسبا كما ان الاشخاص الذين يتعاملون مع الملابس الواقية واجهزة التنفس الواقية **يجب ان يكونوا مؤهلين لهذا الغرض.**

2.7.8 السيطرة على الدخول

1 ـ ان الدخول الى المنطقة المسيطر عليها يجب ان يقتصر على اولئك الذين نسبوا الى هذا المناطق او للاخرين الذين صرح لهم بذلك

2 ـ ان دخول العاملين الى المناطق المراقبة يجب ان يخضع لارشادات التشغيل الموقعية.

3 ـ ان دخول الزوار للمناطق المسيطر عليها والمناطق المراقبة يجب ان يسمح به بعد موافقة المستوى الاداري المناسب المسؤول عن محلات العمل.

3.7.8 مسح ومراقبة المنطقة (Area monitoring and surveys)

ان الغرض من المراقبة والمسح هو التأكد من ان المناطق المحددة تبقى نافذة. ولغرض اعطاء معلومات حول الحالة الاشعاعية للمنشأة النووية والمناطق الخاصة قبل بدء العمل واثناءه.وربما ينجز المسح بصورة اوتوماتيكية بواسطة كواشف ثابتة لمستويات الاشعاع ولتلوث الهواء او بواسطة المراقبة اليدوية الدورية (Periodic manual monitoring) واخذ النماذج من قبل اشخاص مدربين. وعندما تتوفر كواشف ثابتة فانه يجب وضعها في مناطق يحتمل حدوث تغييرات كبيرة في مستويات الاشعاع فيها او معدل جرع او تلوث الهواء (بالغازات او اليود او الجسيمات) وتتضمن منبه للدلالة على تجاوز الحدود المصدرية.ان المنبه يجب ان يوضع في غرفة السيطرة التي يجلس فيها الاشخاص وكذلك في محلات المراقبة. وعندما يتوقع اشغال المحلات مرارا فانه يجب توفير كاشفات ثابتة. ان تكرار الكشف والمسح الاشعاعي للمواقع والقياسات التي يجب اجراؤها يجب ان يتم على استمارات يتم تحديثها كلما كان ذلك ضروريا استنادا الى الحالة الموجودة.

ويجب كذلك القيام بالمسح الاشعاعي لغرض مجابهة المشاكل الخاصة وعلى سبيل المثال عند حدوث تسرب ينتج عنه تلوث محمول جوا او عندما تكشف المراقبة الروتينية حالة غير اعتيادية او غير طبيعية.

وعندما تستعمل مراقبة المناطق بصفة طريقة للتأكد من عدم تجاوز حدود الجرع الفردية فانه يجب اتخاذ الخطوات للتأكد من ان معلومات المراقبة الناتجة من الكواشف الثابتة من المسح الاشعاعي المختار تمثل الحالة الاشعاعية في المنطقة.

4.7.8 مراقبة مناطق العمل

ان مراقبة مناطق العمل يجب ان تجري لغرض

1 ـ تقدير مستويات الاشعاع الخارجية: مثل معدل الجرع ومعدل الدفق في جميع المواقع المناسبة ضمن المنشأة النووية.

2 ـ لغرض تقدير مستويات التلوث الاشعاعي في جميع المواقع ضمن المنشأة النووية.

3 ـ لغرض تقدير الخطورة الاشعاعية المرتبطة بالحوادث وحالات الطوارىء.

5.7.8 الحد من التعرض (Restricting exposures)

كلما كان ذلك ممكنا منطقيا وعمليا فان الترتيبات التي تتخذ للحد من التعرض المهني تتعلق بمصدر الاشعاع وبخواص محل العمل.ان التأكيد يجب ان يتم على الخواص الداخلية لموقع العمل وفقط بصورة ثانوية على الوقاية الناتجة من فعاليات العاملين.

ان استعمال اجهزة الوقاية الفردية يجب ان يكون بصورة عامة معززاً للاجراءات الاساسية الاكثر اهمية.

ان التعرض الخارجي ربما يحد بواسطة استعمال الدروع الواقية والمسافة والحد من زمن التعرض. ان كفاية التدريع لمصادر الاشعاع تعطي ظروف سلامة داخلية (Intrinsically safe condition)

8.8 حالات الطوارىء

ان برنامج الوقاية من الاشعاع يجب ان يتضمن جميع حالات الطوارىء التي ربما تسبب تعرضا خارجيا للاشعاع غير مخطط له وتلوثا خارجيا او داخليا للاشخاص او تلوثا للمناطق والاجهزة. ان النقاش هنا سوف يتناول حالات الطوارىء المتعلقة بالامور داخل المنشأة النووية فقط.

طرائق التعامل مع حالات الطوارىء

قبل بدء التشغيل يجب وضع الترتيبات الخاصة بازالة تلوث الأشخاص والعلاج للاشخاص الذين يتأثرون بحالات الطوارىء.
ان حالات الطوارىء يجب ان تبلغ حالا الى السلطات المختصة طبقا لاساليب التعامل مع حالات الطوارىء والحوادث.
ان الاساليب المناسبة التي تتبع سوف تحدد نتيجة تقديرات النواحي المتعلقة بالوقاية من الاشعاع للحالة الطارئة. ان الاشخاص المتأثرين بحالة الحوادث يجب ان يشخصوا ويعزلوا على ضوء التلوث والتعرض الاشعاعي والاصابات. ان الاشخاص الملوثين ولكنهم غير مصابين يتم ازالة تلوثهم في منطقة محددة لهذا الغرض. عادة في منشأة داخل المنطقة المسيطر عليها. وفي حالة الاشخاص الملوثين والمصابين اصابات بليغة فان يجب اعطاء الاولوية للعناية الطبية على ازالة التلوث. ولهذه الحالات فان شخصا متدربا على اساليب السيطرة على التلوث يجب ان يرافق الاشخاص المصابين الى العناية الطبية لغرض اعطاء المشورة حول السيطرة على تلوث المنشآت والاجهزة.

ولغرض الاسراع في عملية التعامل مع حالاتَ الطوارىء فان المنشآت الواقعة ضمن الموقع يجب ان تكون حاوية على غرفة اسعافات اولية وعلى منشآت لازالة التلوث عن الاشخاص والاجهزة والمناطق.

ان جميع الاشخاص الذين يقومون بواجبات الوقاية استجابة لحالة طارئة يجب ان يجهزوا بمقياس جرع فردي وملابس وقائية مناسبة واجهزة وقاية تنفس للدرجة التي تتطلبها الحالة. ويجب توفير كميات كافية من مختلف الاجهزة الوقائية بصورة آنية لمقابلة المتطلبات الدنيا المتوقعة خلال حالة الطوارىء.

ويجب توفير اجهزة كشف اشعاع ذات مجال عال (High – range radia- tion – monitoring instruments) ومن ضمنها اجهزة معدلات جرع (Dose rate instruments) ومقاييس جرع فردية يجب ان تكون متوفرة بيسر للاستعمال خلال حالات الطوارىء.

وبالاضافة الى ذلك فانه يتطلب اجهزة اخذ نماذج هواء ذات قوة ذاتية وفي مناطق مختارة فانه يجب وجود اجهزة كشف ذات مدى عال ثابتة لغرض التقدير السريع للحالات الطارئة. ويجب توفير الامكانيات لاخذ النماذج مثل الغازات والرذاذ وسوائل الضخ داخل الابنية دون الحاجة الى الدخول فيها.

ويجب فحص جميع الاجهزة الخاصة بحالات الطوارىء بصورة دورية وكلما كان ذلك ضروريا للتأكد من انها متوفرة وتعمل بصورة مرضية في حالة الحاجة لها.

9.8 التعرض في حالات الطوارىء والحوادث

(Accidental and emergency exposure)

ان اسس الوقاية من الاشعاع تميز ظروف التعرض الذي يخضع للسيطرة الذي ينطبق عليه نظام تحديد الجرع من التعرض الناتج من ظروف لا تخضع للسيطرة حيث يكون لها اعتبارات اخرى يجب اخذها بنظر الاعتبار.

ان احتمالية حدوث التعرض غير الطبيعي الناتج عن الحوادث بالاضافة الى مقدار هذا التعرض يمكن ان يحدد الى درجة ما بواسطة التصميم المناسب وبواسطة خواص السلامة الهندسية ولاحداث الحوادث المميزة بالمقادير الصغيرة من الضرر الاشعاعي الاحتمالي (Stochastic radiation detriments) واحتمالية عالية للحدوث فان القيمة المتوقعة الكلية للضرر الصحي توفر مقياسا للمقارنة بين هذه المترتبات مع الخطورات الاخرى واستراتيجية السيطرة البديلة. ان تحليل هذه الاجراءات توفر طريقة للوصول الى حدود مقبولة وبصورة معاكسة فان القيمة المتوقعة للحوادث ذات المقادير الكبيرة والاحتمالية القليلة التي يحدث عنها عدد كبير من الضحايا غير الاحتمالية لا تخضع لمثل هذا التحليل. ان هذه الاحداث يسيطر عليها بواسطة تخفيض الاحتمالية للحدوث او بواسطة تقليل المرتبات او كليهما. وفي حالة حدوث حادثة فان الحد من التعرض يمكن ان يحقق بواسطة اجراءات تصحيحة ربما تتطلب خطوات خاصة تؤخذ خلافا لاجراءات التشغيل الاعتيادية ان مثل هذه الخطوات تدعى تدخلا (Intervention) .

ان الغرض من التدخل هو لغرض اعادة السيطرة على الحالة غير الطبيعية ولغرض الحد من تعرض الأفراد وتطبيق اجراءات تصحيحة للاشخاص وبيئتهم لغرض تقليل مترتبات التعرض الذي لا يمكن تجنبه ولتوفر رعاية طبية فورية للاشخاص ولغرض القيام بالخطوة الاولى لاعادة الظروف الطبيعية.

وللتنوع الكبير في الظروف التي ربما تؤثر في اتخاذ الاجراءات التصحيحة فانه من غير الممكن وضع مستوى تدخل مناسب لجميع المناسبات ولكن مع هذا فانه لانواع معينة من الحوادث التي تكون منظورة الى مدى معين فانه قد يكون ممكنا للسلطات المسؤولة بواسطة تحليل كلفة الحادثة والاجراءات التصحيحة وضع مستويات تدخل ومع ذلك فقد تم وضع مثل هذه المستويات [(المصدر 64, (ICRP 40)].

ان القرار باتخاذ الاجراءات التصحيحية يكون مبرراً فقط عندما تكون كلفتها الاجتماعية وبضمنها الضيق الاجتماعي (Social inconvenience) والخطورة اقل من تلك الناتجة من التعرض الاكثر. ومع هذا فان اولئك المسؤولين عن صحة وسلامة العاملين والاشخاص خارج المنشأة النووية يجب ان يكون لهم خطة طوارىء وبضمنها حدود جرع يتم عندها اتخاذ الاجراءات التصحيحية. ان وضع مثل هذه الحدود للتدخل هو من مسؤولية السلطات الوطنية المسؤولة (هيئة الوقاية من الاشعاع في العراق مثلا)

التعرض غير الطبيعي في الحالات المهنية

ان التعرض غير الطبيعي في الحالات المهنية ربما يحدث نتيجة حالة غير طبيعية وبضمنها حالات الطوارىء والحوادث ان التعرض في حالات الطوارئ ربما يحدث من عمليات طوارىء مبررة خلال حادث او بعده مباشرة. ان تعرض الحوادث يختلف عن تعرض الطوارىء بانه غير منظور.

ان التدخل من قبل مجاميع الطوارىء في عمليات الطوارىء خلال الحوادث او بعدها مباشرة ربما ينتج عنه جرع تتجاوز الحدود الموضوعة للتعرض المهني. ان الجرع المتسلمة خلال التدخل يجب ان تحسب بواسطة خبير مؤهل. ان مستويات التعرض توضع مع الاعمال المناسبة لغرض الحد من التعرض ويجب ان تعرف بوضوح بتعليمات التشغيل ضمن حدود التعرض الخاص المخطط له.

1 ـ ان الجرع والتناول للعاملين مهنياً في حقول الاشعاع التي تتسلم خلال الاحداث غير الطبيعية يجب ان تخضع للتحري حول اسباب حدوثها ومترتبات ذلك.

2 ـ عندما يتسلم عامل في حقول الاشعاع جرعة او تناولا للمواد المشعة التي تخمن على انها تتجاوز ضعف الحدود السنوية فان الحالة يجب ان تخضع للمراجعة الطبية المناسبة بواسطة طبيب مهني مختص.

3 ـ ان الترتيبات الادارية التي تتخذ بعد الحادث يجب ان تتضمن قرارات حول الحاجة للحد من التعرض المهني المستقبلي لاولئك المشمولين بالحادثة. ولربما يستمر السماح للعامل بالاستمرار بالعمل الروتيني فيما اذا لا يوجد اعتراض من الناحية الطبية وانه قد اخذ بنظر الاعتبار الجرع الاشعاعية المتسلمة قبل ذلك وصحة وعمر ومهارات العامل بالاضافة الى المسؤوليات الاجتماعية والاقتصادية للمتعرض.

ان جميع جرع الطوارىء والحوادث يجب ان تسجل بالاضافة الى التناول الحادث في الطوارىء والحوادث سوية وان تميز بوضوح عن التعرض الاعتيادي.

واذا حدث تعرض يزيد عن حدود الجرع المرعية او انه قد شك بان ذلك قد حدث فانه يجب التحري عن الظروف التي ادت الى حدوث التعرض وان النتائج يجب ان تبلغ الى ادارة المنشأة النووية والى السلطات المسؤولة.

وفيما اذا تطلبت عمليات الطوارىء تسلم بعض العاملين جرعا اشعاعية تزيد على الحدود الموضوعة للتعرض الخاص المخطط له فان مثل هذا النوع من تعرض الطوارىء يعتبر مبرراً فقط في حالة كونه فوريا لانقاذ اشخاص مصابين او محصورين ولغرض منع الاصابات او منع الزيادة الكبيرة في مقدار الحادث وبضمنها انقاذ مواد ذات قيمة عالية وفي اية حالة فان مثل هؤلاء العمال يجب ان يكونوا.

1 ـ متطوعين

2 ـ قد حصلوا على معلومات حول الخطورة المتضمنة التعرض اعلى من الحدود.

وعندما يتم وضع السيطرة على الاحداث الابتدائية فان الاجراءات التصحيحية يمكن ان تجري عادة باطاعة حدود مكافىء الجرع. واستثناءاً من ذلك فانه ربما تكون هنالك حالات تتطلب الاخذ بنظر الاعتبار ملائمة تخويل التعرض الخاص المخطط له لعدد محدود من الاشخاص للقيام بعمليات مهمة مختلفة مع ترك البقية للانجاز باطاعة حدود الجرع.

واذا ما حدث ان الاشخاص العاملين قد تعرضوا او تلوثوا بصورة جدية نتيجة الحالة غير الطبيعية فان الاعمال الانية يجب القيام بها.

1 ـ جمع مقاييس الجرع والمعلومات التي تساعد في تقدير الجرع والتناول.

2 ـ جمع نماذج بايولوجية لتحليل الـ (Bioassay)

3 ـ البدء بالفحصوات الطبية والتشخيص الذي يلي ذلك.

4 ـ جمع معلومات حول ظروف الحادث.

ان الحاجة الى السيطرة على التلوث يجب ان لا تعرقل او تتداخل مع الاسعافات الاولية والمعالجة التي تلي ذلك للاشخاص الذين يحتاجون الى الرعاية الطبية لاسباب اخرى.

10.8 التعرض الطبي (Medical exposure)

ان التعرض الطبي ينطبق على تعرض الافراد الناتج من الفحص الطبي ومن المعالجة المرتبطة بصورة مباشرة مع المرضى. وكذلك الفحص المنتظم (Systematic examination) الذي يتضمن التحري الكتلوي (Mass screening) او الفحص الصحي الدوري (Periodic health check) او الفحص الذي يشكل جزءا من الاشراف على العاملين او الذي يجرى لاغراض القانون (medico – legal) او لاغراض التأمين والفحص او المعالجة التي تكون جزءا من برنامج البحوث الطبية.

عندما يتعلق الفحص او العلاج بصورة مباشرة بالمرض فان نظام تحديد الجرع ينطبق على هذه الحالة فيما عدا حدود الجرع. ومع هذا خلافا للعاملين في حقول الاشعاع والسكان وفي كل حالة مفردة للتعرض فان الفرد المتعرض الى الخطورة هو نفس الشخص الذي يستفيد من الفحص او المعالجة. ان حدود الجرع غير مطلوبة هنا لان ناتج التبرير والوصول الى الحالة المثلى يجب ان يكون دائما في افضل فائدة للفرد من الخطورة المتأتية من اي مستوى للجرع.

ان مسؤولية القرار فيما اذا كان الفحص المتضمن جرعا اشعاعيه الى المريض تعود الى الطبيب الذي يطلب الفحص وفي بعض الاحيان الممارس الذي يجري الفحص. وفي كلتا الحالتين فانه من الضروري ان يكون القرار مبنياً على تقديرا صحيح للدلائل التي تشير الى ضرورة الفحص والنتائج المفيدة المتوقعة من الفحص والطريقة التي يحتمل ان تؤثر فيها النتائج على التشخيص والرعاية الطبية للمريض التي تلي ذلك.

واذا كان تعرض المرضى نتيجة برنامج البحوث الطبية التي لا يكون فيهامنفعة او منفعة قليلة جدا للاشخاص المعرضين للتشعيع فأن التشعيع يجب ان يتم من قبل اشخاص مؤهلين علميا ومتدربين بصورة جيدة طبقا للشروط الموضوعة من قبل السلطات المسؤولة لاغراض برنامج البحث. وعند وضع هذه الشروط وحدود الجرع فان هذه السلطات يجب ان تأخذ بنظر الاعتبار المعلومات التي في منشورات منظمة الصحة العالمية (WHO) حول الطرائق التفصيلة لاجراء البحوث الطبية على البشر وان تقوم بوضع الشروط وحدود الجرع بحيث ان الضرر يبقى مقبولا للاشخاص المعرضين.

ان الخطورة المقدرة نتيجة التشعيع يجب ان تشرح للمعنيين الذين يجب ان يكونوا متطوعين من حيث المبدأ وانهم قادرون بصورة كاملة على التصرف الحر. واستثناء من ذلك فان التشعيع ربما يعطي الى الاطفال والاشخاص الاخرين الذين لا يستطيعون اعطاء موافقتهم الصادقة فيما لو كانت الفائدة العلمية ذات اهمية واضحة واذا ما اعطيت الموافقات الاصولية من قبل اولئك المسؤولين عنهم قانونا واذا كانت الجرع الاشعاعية المتوقعة تبقى قليلة وفي اية حالة اقل من الحدود المثبتة بواسطة السلطات المسؤولة وعلى سبيل المثال 1/10 من الحدود الموضوعة لافراد المجتمع. وبالاضافة الى ذلك فان بحوث طبية تتعلق بالبشر يجب ان تخضع كليا لاعلان هلسنكي (Helsinki declarations) وانه يجب ان تجرى فقط بموافقة السلطات الطبية المسؤولة عن المؤسسات التي يجري فيها التشعيع وكما هو موصى من قبل جهة علمية مناسبة وعرضه للانظمة الوطنية والمحلية والقواعد الاخلاقية والعرف (Ethical rules)

ان الفحص النظامي (Systematic examination) وهو الفحص الاشعاعي الدوري (Periodic radiological examinations) يجري دون الاشارة الى الاعراض المرضية في الافراد سوف يكون عرضة للتبرير. ان التقدير يتعلق بالمعلومات المفيدة المستحصلة واهمية تلك المعلومات لصحة الافراد.

وللفحوصات النظامية التي تجري في التحري الكتلوي فان التبرير يجب ان يستند الى الموازنة بين الفوائد التي تنطبق على الافراد المفحوصين وعلى السكان كلهم ضد الكلفة ويضمنها الضرر الاشعاعي الناتج عن التحري. وبصورة عامة فان الفوائد تعتمد على ناتج التحري الكتلوي واحتمالية المعالجة الفعالة للحالات المكشوفة لبعض الامراض والفوائد على المجتمع نتيجة السيطرة على المرض. ان فوائد التحري لا تكون متشابهة دائما للمجاميع المختلفة من المجتمع وان التحري يكون غالب مبررا فيما اذا شمل مجاميع خاصة محددة. ان البرنامج يجب ان يكون عرضة للتقويم والمراجعة عدة مرات لغرض تقدير ما اذا كانت النتيجة المستحصلة في ايجاد مرضهم تكون عالية بما فيه الكفاية بحيث تبرر استمراره.

ان الفحوصات الاشعاعية قد تجرى لاغراض الفحص الطبي للتعيين المهني وتكون مبررة بالنسبة لصحة الفرد وصلاحية الفرد للعمل. ان مثل هذا الفحص يجب ان يجرى بما يتماشى مع الوصول بالوقاية من الاشعاع الى الحالة المثلى.

ان الفحوصات الاشعاعية الخاصة بالطب القضائي او لغرض تقدير صحة الاشخاص لاغراض التأمين يجب ان لا تجرى الا بعد ان تعطى الفوائد المجناة من قبل الشخص دراسة جديه.

وفي كل الحالات فان على الطبيب او الممارس الاشعاعي ان يتأكد من ان المعلومات اللازمة لا تكون متوفرة من الفحوصات السابقة او التحريات السابقة وان نفس المعلومات لا يمكن ان يحصل عليها من التحري باستعمال طرائق اخرى. ان على الطبيب الممارس الذي يجري الفحص ان يوصل الوقاية

الى الحالة المثلى ويجب ان يكون له دائما تدريبا في مجال الوقاية من الاشعاع الذي يكون مقبولا لكفايته له من السلطات المسؤولة.

11.8 تعرض السكان ما عدا التعرض الطبي

ان افراد المجتمع لا يكونون عرضة للاشراف بصورة عامة وبهذا فان تعرض السكان الى الاشعاع يحد بالدرجة الاساس عن طريق السيطرة على المصدر المشع. ان هـذا يختلف عن السيطرة عـلى تعرض العـاملين الذين يكونون تحت الاشراف وفي تقدير والسيطرة على تعرض السكان فـانه يجب التمييزبأنه غالبا ما يكون هنالك فـرق بين السكـان (Public) والعاملين المهنيين في حقول الأشعاع من ناحيـة توزيـع العمر (Age distribution) ومعاملات التمثيـل والطرائق الحـرجة (Critical pathways) واليـة التناول (Intake mechanism) وهكذا.

ولهذا فانه للحالات الخاصة عندما يكون هنالك تعرض داخلي للرضع والاطفال وبسبب التحديدات الحياتية ومعاملات التمثيل (الايض) فان قيم التناول يجب ان تختار على النحو الاتي.

ان الحـدود الثانـوية قـد تبلغ 1/100 من الحدود السنـوية للتنـاول ALI وربما تستعمل في الحـالات التي لا يحتمل ان يتكـرر فيها التعـرض لفترات طويلة من الزمن. ان هذا الجزء مؤلف من مكونتين. ان احداهما هي 1/10 وتطبق على قيمة الـ ALI للاخذ بنظر الاعتبار حدود الجرع الدنيا لافراد السكان وان المكونة الاخرى هي 1/10 اضافي للاخذ بنظر الاعتبار الكتل الصغيرة لاعضاء الرضع والاطفال الحرجين.

ان 1/100 من الـ ALI ذات العلاقة (المصادر 56 – 60) تستعمل بصفة كمية ذات علاقة لقيمة متوسط التنـاول في الحالات التي يكـون فيها تعرض الافراد في المجاميع الحرجة يستمر لفترة طويلة من الزمن (لغاية كل عمر الفرد) ان هذا الجزء مكـون من جزأين، الجـزء الاول يبلغ 1/50

والذي يطبق على قيم ALI للاخذ بنظر الاعتبار متوسط القيم السنوية الدنيا لافراد السكان والجزء الثاني يكون ½ وهو تأخذ بنظر الاعتبار كتلة الاعضاء المتوسطة خلال فترة العمر حيث ان كتلة الاعضاء تزداد عند بلوغ الاشخاص .

ومع هذا فان حدود مكافىء الجرع المؤثرة السنوية ومتوسط القيم السنوية 5 mSv (0.5rem) عندما يقتصر التعرض على زمن قصير من حياة الفرد او متوسط 1 mSv (0.1rem) على مدى حياة الفرد.

ان الاعمال المتعلقة بتعرض السكان الى الاشعاع يجب ان تجري فقط ضمن متطلبات نظام تحديد الجرع . ان حدود الجرع لافراد السكان تنطبق على الجرع الى المجاميع الحرجة وان اختبارها يخضع لموافقة السلطات المسؤولة .

وفي حالة استمرارية العمل فان الجرع المخصصة من كل سنة تشغيل يجب ان تحدد بطريقة بحيث ان الجرع السنوية المستقبلية الى المجاميع الحرجة في الوقت الذي تصل فيه الى القيم العظمى سوف لن يتجاوز حدود الجرع المناسبة . وفي تطبيق هذه التحديدات الى الجرع المخصصة من سنة التشغيل واحدة فانه يجب توفير حد كافي للاخذ بنظر الاعتبار الفعاليات الاخرى التي تسبب تعرض مجموعة حرجة معينة .

ان الادارة المسؤولة عن النشاط الذي ينتج عنه تعرض افراد السكان الى الاشعاع يجب ان تتأكد من اتباع كل المتطلبات ذات العلاقة الموضوعة من قبل السلطات المسؤولة والتي غايتها وقاية السكان .

ان الحد من تعرض السكان يأخذ بنظر الاعتبار

1 ـ مفاهيم الوقاية من الاشعاع المتعلقة بالافراد حيث يجري احترام حدود الجرع الموضوعة لافراد المجتمع .

2 ـ مفاهيم الوقاية من الاشعاع المتعلقة بالمصدر ان اي مصدر او عمل يجب ان يبرر ويكون عرضة لمبدأ الوصول الى الحالة المثلى .

ولغرض تقدير الوقاية المتعلقة بالمصدر فانه قد يكون مفيدا استنباط تنبؤ طويل المدى لاتجاهات المساهمات المختلفة الى مجموعة الجرع المتجمعة ومجموع مكافىء الجرع الفردية الناتجة من مختلف مصادر التعرض.

12.8 مفاهيم الوقاية المتعلقة بالافراد

ان تقديرات الجرع المتعلقة بالافراد تهدف الى تخمين التعرض الكلي الى الاشعاع المتسلم من قبل اشخاص معينين من جميع المصادر الفردية.

ان حدود مكافىء الجرع للعاملين ولافراد المجتمع لا يقصد بها اغراض التصميم او التخطيط ولكنها تمثل الحدود الدنيا لمديات القيم التي تعتبر بصورة عامة غير مقبولة. ان القيم التي هي اعلى من هذه الحدود يجب ان يتم تجنبها بصورة خصوصية. ولكن القيم التي هي اقل من هذه الحدود لا يجري قبولها بصورة ذاتية وبهذه الروحية فان الحدود هي لاغراض الوصول الى الحالة المثلى.

وعندما يحتمل ان تساهم عدة فعاليات بصورة ملموسة الى تعرض نفس المجموعة من السكان المعرضين اما سوية او على التوالي فان ايجاد المجاميع الحرجة يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار هذه المستهمات بصورة منفردة.

ويجب المعرفة بان تعرض المجموعة التي تكون حرجة فيما يخص مقادير مصادر متقدمة لا يكون بالضرورة متشابها الى اي مجاميع اخرى تكون حرجة فيما يخص المصادر المفردة. وبصورة عامة فان المجموعة الحرجة لمصدر معين او مجموعة من المصادر هي المجموعة من الافراد الذين يكون تعرضهم متجانساً نسبيا (مثلا للافراد المتسلمين للجرع القصوى وهذا يكون معزولا عن الحدود الاساسية.

ولان حدود الجرع تنطبق على التعرض من عدة فعاليات فانه لا يمكن استعمالها بصفة حدود تشغيلية وفي الحقيقة فان التعرض في حد من فعالية مفردة سوف لا يترك مجالا للتعرضات الاخرى لنفس المجموعة الحرجة. واكثر

من ذلك فانه في كل سنة من استمرار الفعالية يمكن ان يسبب في بعض الحالات تعرضا سوف يعطي في المستقبل يساهم في تعرض السنوات الاخرى.

ان من الممكن السيطرة على متوسط مكافىء الجرع المؤثرة المستقبلي الناتج من جميع الفعاليات بواسطة تطبيق حدود عملية على مكافىء الجرع المؤثرة المخصصة لوحدة الفعالية لكل واحدة في الفعاليات ان هذا المفهوم قد استعمل في بعض البلدان لوضع الحدود المصرح بها الى مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة المخصصة لوحدة MW. year من الطاقة الكهربائية المتولدة بواسطة الطرائق النووية.

ان استعمال النماذج البيئية يمكن من ايجاد العلاقة بين المطروح والمستوى البيئي والجرع الناتجة مما يجعل من الممكن عزو طرح المواد المشعة الى البيئة الى مكافىء الجرع المؤثرة للمجاميع الحرجة. ان تسلسل الاحداث التي تؤدي الى تشعيع البشر منذ الاطلاق الابتدائي يمكن ان توضح بيانيا بواسطة نماذج الحجيرات (Compartment models) والتي يكون معدل الانتقال للمواد المشعة بين هذه الحجيرات محددا بثوابت او بدالات زمنية (Time functions) ان استعمال نماذج الحجيرات حتى ولو كانت معقدة يضمن تبسيطا كبيرا لعملية الانتقال الحقيقية لمجموع طرائق الانتقال التي تربط الطرح او المواد المشعة الى تعرض البشر.

ولغرض التقديرات المتعلقة بالافراد فان المساهمات للمناطق وعلى النطاق العالمي يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار من المصادر والفعاليات الاخرى والتي تعرض نفس المجموعة الحرجة. وبالاضافة الى ذلك فانه يجب الاخذ بنظر الاعتبار التعرض من الانواع الاخرى الذي يشمل الظروف الحالية والمستقبلية لنفس المجموعة الحرجة.

13.8 مفاهيم الوقاية المتعلقة بالمصادر

ان التقديرات المتعلقة بالمصادر يكون الغرض المثالي منها تقدير الضرر الاشعاعي الكلي من مصدر محدد او ممارسة محددة. ان هذا الضرر عندما يتضمن جرعا فردية صغيرة اقل من الحدود المسموح بها حيث تكون مؤلفة تأثيرات احتمالية فقط وتحت فرضية التناسب فان المكونات الصحية لمجموع الضرر يتناسب مع مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة المخصصة.

14.8 الحد من التعرض

ان الحد من التعرض الناتج من مصدر او فعالية يجب ان يتضمن فحص واختبار الاجراءات الوقائية التي تشمل

1 ـ الفحص والموافقة على الفرضيات المتعلقة بالخطورة الاشعاعية.ان ذلك يتضمن دراسات ما قبل التشغيل ان تطلب ذلك.

2 ـ القبول في الخدمة في المنشآت النووية الجديدة او تحوير المنشآت الحالية الموجودة فيما يخص الوقاية من اي تعرض للاشعاع او تلوث عرضة للامتداد لسياج المنشأة مع الاخذ بنظر الاعتبار الظروف السكانية والانوائية الجوية والجيولوجية والمائية والبيئية.

3 ـ فحص كفاءة الاجهزة الواقية ووضع الحدود المصرح بها للطرح وعندما يكون ذلك ضروريا يجب وضع خطة طوارىء.

ان التعرض الخارجي المباشر من المصادر المستعملة في الصناعة والطب والاغراض العلمية يجب ان يحددوانه يكون من الضروري تحديد منطقة محدودة الدخول او الاستعمال قرب المصدر.

برنامج المسح والمراقبة للجرع الفردية ومكافىء الجرع المتجمعة المخصصة

ان الغرض في المسح الاشعاعي ما يلي

1 ـ التأكد من اتباع الحدود المصرح بها.

2 ـ لغرض تقدير مكافىء الجرع الى افراد السكان من المصادر تحت التداول.

3 ـ لغرض تقدير اتجاهات مستويات التعرض في البيئة. ان مراقبة السكان المعرضين يمكن ان يتم على النحو الاتي

أ ـ مراقبة المصدر الذي يتضمن مراقبة ما هو مطروح وتقدير معدل الجرع في حالة التعرض المباشر لافراد السكان. ان مراقبة المصدر تشكل متطلبات السيطرة الاساسية بالعكس من مراقبة طرائق الانتقال البيئية.

ب ـ مراقبة طرائق الانتقال البيئية للتأكد بأن المجاميع الحرجة من السكان يجري حمايتها بصورة كافية. ان المسح يجب ان يجري في جميع الاماكن التي يحتمل ان تتواجد فيها المجاميع الحرجة من السكان وان المراقبة البيئية يجب ان تجرى في مناطق اخرى يحتمل ان يتأثر السكان فيها بواسطة مصدر معين. ان المستويات البيئية تكون عادة قليلة جدا ولهذا يعتمد بصورة اساسية على مراقبة المصدر.

ان نتائج المسح الاشعاعي يجب ان تدرس وذلك للتأكد من الافتراضات المعمولة حول النماذج البيئية او لتعديلها والتي تستعمل لاشتقاق حدود الطرح وتقدير الجرع المخصصة.

ان السجلات التي تربط القياسات الخارجية للتعرض والتلوث الاشعاعي. بالجرع المقدرة المتسلمة من قبل السكان يجب ان تنضم بصورة جيدة. ان جميع قيم الطرح للمواد المشعة الى البيئة يجب ان تسجل طبقا لمتطلبات السلطات المسؤولة وقبل بدء العمل في ممارسة ينتج عنها تعرضا للسكان فانه متى يكون من المناسب اجراء دراسات ما قبل التشغيل لاعطاء المعلومات اللازمة لمعاملات طرائق الانتقال ذات العلاقة ولغرض التخطيط للمراقبة خلال التشغيل.

15.8 التعرض من السلع الاستهلاكية

(Exposure from consumer products)

ان السلطات المسؤولة يجب ان تنظم استعمال السلع الاستهلاكية التي تسبب تعرضا للاشعاع وان تضع تعليمات لغرض تقدير مثل هذه المنتجات حتى في حالة كون الاتجار بها واستعمالها لا يخضع لهذه الاسس وعندما يسمح بادخال سلعة من هذا النوع فانه يجب اخذ ردمها في المستقبل بنظر الاعتبار.

التعرض المضاف الى مصادر الاشعاع الطبيعة

ان مبدأ التبرير والوصول الى الحالة المثلى ينطبق بصورة عامة على كل الفعاليات التي ربما تؤثر في التعرض الى مصادر الاشعاع الطبيعية. وبالرغم من ان حدود مكافىء الجرع لا تنطبق بصفة قاعدة على الجرعة الناتجة من الخلفية الاشعاعية فان السلطات المسؤولة ربما تحدد بأن يتم اخضاع التعرض المزاد الى مصادر الاشعاع الطبيعية الى حدود مكافىء الجرع او الى حدود جرع خاصة.

ان الخلفية الاشعاعية العالية الموجودة يجب ان تقدر على ضوء المنفعة الصافية المتحققة عن تخفيض التعرض. ان حدود التدخل المناسبة يجب ان تحدد من قبل السلطات المسؤولة في كل حالة مع الاخذ بنظر الاعتبار ان لحدود الجرع المكافئة علاقة قليلة في هذه الحالة.

16.8 طرح المواد المشعة الى البيئة

(Radioactive release to the environment)

ان اطلاق المواد المشعة الى البيئة بمستويات تفوق حدود الاستثناء الموضوعة من قبل السلطات المستخدمة يجب ان يخضع لتصريح مسبق بواسطة السلطات. ان دراسات ما قبل التشغيل يجب ان تجرى لتمييز المجاميع الحرجة

وطرائق الانتقال الحرجة بطريقة ترضي السلطات المسؤولة. ان ادارة اي منشأة تقوم بطرح المواد المشعة الى البيئة سوف تكون مسؤولة عن وضع السيطرة على الطرح لغرض اطاعة الحدود المصرح بها للطرح. ولغرض توضيح هذه الاطاعة فانها تكون مسؤولة عن القيام بمراقبة كافية وتقوم بحساب مصير المواد المشعة المطروحة عندما تطلب السلطات المسؤولة منها ذلك. ان مراقبة المطروح يجب ان تكون معززة ببرنامج مسح اشعاعي للبيئة.

1.16.8 وضع حدود طرح المواد المشعة

لغرض اطاعة الحدود الاشعاعية المحددة من قبل السلطات المختصة فان على عاتق الهيئات التشريعية المختصة وضع حدود الكميات المطروحة ومعدل الطرح للمواد المشعة الغازية والمواد المشعة السائلة. ان على عاتق ادارة المنشآت وضع مستويات مصدرية مناسبة للمنشأة المعينة لغرض التأكد بان الطرح المخطط له الى البيئة سوف يلبي جميع متطلبات الهيئات التشريعية. ولهذا الغرض فانه لابد من اعطاء الاهتمام الخاص لوضع مستويات تنطبق على الطرح لفترات زمنية قصيرة وعلى المدى الطويل الى البيئة والى تعريف النويدات المشعة التي تهمنا.

2.16.8 السيطرة على المواد المطروحة (Control of release)

ان السيطرة على النفايات المشعة المطلقة الى البيئة تتم بواسطة الاساليب التالية

1 ـ وضع مستويات مصدرية للطرح من المنشأة للنويدات المشعة التي يعرف بانها مهمة في تشغيل المنشأة.

2 ـ وضع طرائق للحصول على نماذج ممثلة من النفايات المشعة التي يجري اطلاقها.

3 ـ تحليل مكونات النويدات المشعة وكمياتها.
4 ـ وضع معدلات للطرح واصدار تصاريح طرح لكل وجبة.
5 ـ وضع اساليب لطرح المواد المشعة ولغرض مراقبة المطروح ولغرض تسجيل المعلومات حول كل طرح.

وطبقا لمتطلبات واساليب ادارة المنشأة النووية والجهات التشريعية فانه يجب تطبيق نظام مراقبة بيئية. ان ذلك يشمل جمع نماذج مختلفة (نباتات ومترسبات واسماك وحليب وهواء والاوساط البيئية الاخرى).
ان النماذج يجب ان تجمع بصورة دورية من مناطق خارج الموقع وان التحليل لاي نشاط اشعاعي يعزى الى النفايات المشعة المطلقة من اية منشأة. ان الغرض من هذا البرنامج هو لغرض التأكد من انه لم يحدث انحراف كبير من النموذج الذي وضعت بموجبه حدود الطرح المصرح بها وبالخصوص فانه لم يحدث تراكم فعالية في اي وسط بيئي.
وفيما اذا حدث طرح غير مسيطر عليه او ان المواد المشعة قد طرحت الى البيئة دون الاساليب المعتمدة فانه يقع على عاتق ادارة المنشأة القيام بما يلي
1 ـ تخمين مقدار الطرح بواسطة اتخاذ الخطوات المناسبة مثل جمع النماذج والمراقبة لفترة زمنية تتناسب مع شدة الحالة.
2 ـ واذا تطلب ذلك اتخاذ اجراءات الطوارىء.
3 ـ تبليغ الجهات التشريعية المسؤولة حسب المتطلبات.
4 ـ التحري عن الحالة واتخاذ الاجراءات الملائمة لتصحيح الحالة.

المراقبة الاشعاعية لانظمة التشغيل

ان المراقبة الاشعاعية لخطوط التشغيل والانظمة في المنشأة يجب ان تجرى كلما كان ذلك ضروريا بوصفة وسيلة سيطرة متعلقة بالطرح (او لمنع

الطرح غير المسيطر عليه) للمواد المشعة. ان مثل هذه المراقبة يجب ان تتم باخذ نماذج دورية او بواسطة اجهزة نظام مراقبة مركزي. ان نتائج هذه المراقبة يجب ان تكون متوفرة بصورة سريعة للمشغل (في غرفة السيطرة مثلا) لاتخاذ الاجراء التصحيحي المناسب عندما يكون ذلك ضروريا.

ان اجهزة المراقبة الاشعاعية يجب ان تنصب في اي نظام معاملة يحوي سوائل ربما تصبح منشطة اشعاعيا وان يكون لها احتمالية للاطلاق من المنشأة. ولغرض توضيح المعلومات المستحصلة من اجهزة المراقبة المنصوبة فانه يجب توفير امكانيات لغرض اخذ النماذج والقياس الدوري لمثل هذه السوائل وخاصة من تلك التي في نقاط الاطلاق ويجب اتخاذ الاجراءات الكفيلة بتعيير اجهزة المراقبة فيما يخص قراءاتها مع المطروح الفعلي.

17.8 التعرض غير الطبيعي للسكان والاجراءات التصحيحية

عند الوضع او الموافقة على الاجراءات التصحيحة فان السلطات المسؤولة يجب ان تأخذ بنظر الاعتبار الحقيقة فبان معظم الاجراءات التصحيحيةالتي يمكن ان تطبق لتقليل تعرض افراد المجتمع بعد الطرح نتيجة الحوادث للمواد المشعة سوف تسبب بعض الاضرار للسكان المعنيين فيما اذا كان ذلك خطورة على الصحة او بعض الصعوبات الاجتماعية. ولهذا فان الفائدة من القيام بالاجراءات التصحيحية (تقليل التعرض) يجب ان توازن ضد الضرر الناتج. ان الاجراءات التصحيحية يجب ان تتخذ فقط عندما يكون هنالك فائدة ايجابية صافية الى السكان المعنيين.

عند التفكير بالاجراءات التصحيحية فان السلطات المسؤولة يجب ان تأخذ بنظر الاعتبار حجم المجتمع المشمول وسرعة ادخال الاجراءات التصحيحيةولربما يكون هنالك وقت غير كاف للقيام باجراءات تصحيحية فعالة على مساحة واسعة او لعدد كبير من السكان وفي هذه الحالات فان محاولة القيام باجراءات تصحيحية سوف تلحق ضررا اكثر مما تحقق نفعا.

ان على السلطات المسؤولة ان تضع حدودا لا يعتبر التدخل عند عدم تجاوزها مبررا. ان مستويات التدخل يجب ان توضع بصفة مكافىء جرع فردية او تناول ولكن كلما كان ذلك ممكنا فانه يجب اعطاء حدود تدخل مشتقة موضوعة بطريقة تنطبق على نتائج القياسات التي تؤلف جزءاً من نظام المراقبة.

18.8 خطة الطوارئ

يجب تحضير خطة للطوارىء من قبل ادارة المنشأة مصادق عليها ومطبقة من قبل السلطات المسؤولة. وتكون هذه الخطة منطبقة متى ما اصبح عدد من افراد السكان معرضا الى التعرض نتيجة الحادثة الذي يتجاوز الحدود الموضوعة ذات العلاقة من قبل السلطات المختصة.

ان خطة الطوارىء يجب ان تكون مستندة الى دراسة المترتبات الاشعاعية للمواد المشعة المطروحة التي تتبع حادثا مصدريا. ان الخطة مع هذا يجب ان تكون مرنة بما فيه الكفاية للتطبيق على الحالات الفعلية حيث انها تختلف بصورة عامة عن الحادثة المصدرية. ان مستويات التدخل ومستويات التدخل المشتقة يجب ان لا تطبق بصورة ذاتية ولكن يجب ان تعامل بصفة مستوى مصدري وضع بوصفه خطوطا عريضة لاتخاذ القرار وانه يجب اخذها بنظر الاعتبار بالاضافة الى جميع المعلومات الاخرى المتيسرة في الوقت الذي يتم فيه مناقشة التدخل ومع هذا فان الاجراء يجب ان يتخذ قبل توفر معلومات المراقبة ان هذه سوف تبدأ باحداث بادئة (مثل فشل بعض المكونات) والتفسير المستمر للمعلومات المتوفرة حول طبيعة الحادث ومترتباته المحتملة وليس بواسطة المستويات المصدرية. ان خطة الطوارىء يجب ان تحوي.

1 ـ وصف هيكل الجهاز الذي يتعامل مع الحالة الطارئة.

2 ـ مخططا لطرائق الاتصال ضمن المنشأة ومع السلطات المسؤولة المناسبة خارج المنشأة.

3 ـ مخططا للمراقبة الخاصة المطلوبة لتقدير الحالة.

4 ـ شرحا لمختلف الاعمال التصحيحية المتوفرة لتقليل التعرض السكاني للاشعاع وشرحا لفعالية ومترتبات هذه الاجراءات تحت مختلف الظروف.

5 ـ وصفا عاما للمستلزمات البشرية والمادية اللازمة للقيام بهذه الاجراءات التصحيحية موضع التنفيذ.

6 ـ مستويات التدخل ومستويات التدخل المشتقة (الجدول 1.8 والجدول 2.8).

7 ـ المشاكل الاخرى التي تعتبر ضرورية فيما يخص السلطات المسؤولة.

الجدول 1.8 مستويات مكافىء الجرع للاجراءات التصحيحية في الطور المبكر

الاجراء التصحيحية	مكافيء الجرع (mSV) الاعضاء عموم الجسم	الاعضاء الرئة والغدة الدرقية واي عضو مفرد يشعع وحدة فقط
اللجوء الى الابنية واعطاء اليود المستقر		
حدود الجرع العليا	50	500
حدود الجرع الدنيا	5	50
الاجلاء		
حدود الجرع العليا	500	5000
حدود الجرع الدنيا	50	500

× في حالة التشعيع بجسيمات الفا للرئة فان القيمة العددية تطبق على الفعالية البايولوجية النسبية (RBE) وعلى الجرع الممتصة (mGy) ان هذه الفعالية البايولوجية النسبية يتوقع لها ان تكون اقل من 10 بدرجة كبيرة

المصدر ICRP 40, (1984) 64

الجدول 2.8 حدود مكافىء الجرع للاجراء التصحيحية في المرحلة الوسطى

الاجراءات التصحيحية	مكافىء الجرع الاشعاعية المتبفاة (mSV) للسنة الاولى	
	عموم الجسم	الاعضاء المفردة التي تشعع بمفردها
السيطرة على الاغذية		
الحدود العليا	50	500
الحدود الدنيا	5	50
النقل الى مناطق اخرى		
الحدود العليا	500	} غير متوقعة
الحدود الدنيا	50	

المصدر ICRP 40, (1984) 64

(8) . اجراءات تنسيق المعلومات بين المسؤولين والسكان. ان المراقبة الخاصة وجمع المعلومات اللازمة الذي يلي الحادث مباشرة يجب ان يكون له الاهداف التالية

أ ـ بنودلتقدير الحالة وللقرار حول الحاجة للتدخل الذي يعني معرفة اي جزء من البيئة المجاورة سوف يتأثر والى اي درجة.

ب ـ تقدير تعرض السكان

جـ ـ تحسين تنبؤ المترتبات في مثل هذه الحالات.

ان اي حادث عرضة لان يسبب تعرض السكـان ان مستويـات غير اعتيادية للاشعاع يجب ان يبلغ عنهبوصفه حالة عاجلة من قبل ادارة المنشأة الى السلطات المسؤولة المناسبة.



الفصل التاسع

تقدير الخطورة الناتجة من الاشعاع

Radiation Risk Assessment



الفصل التاسع

تقدير الخطورة الناتجة من الاشعاع

Radiation Risk Assessment

تشمل حماية الناس ضد الخطر الحقيقي والمحتمل للاشعة المؤينة تظافر كبير في الجهودوفي المجالات التي تشمل الفن والعلم والهندسة والفلسفة. ان احتمال وجود الخطر قد جرى تمييزه بعد اسابيع قليلة من اكتشاف الاشعة السينية في سنة 1895 ومنذ ذلك الوقت المبكر جرى الاهتمام بدرجات متفاوتة بمشاكل حماية الناس من التأثير الضار للاشعاع. ونتيجة لهذه الجهود فان طبيعة الاشعاع وتأثيراته قد عرفت بصورة افضل من اي مادة سامة.

ان الجهود الجماعية على هذه المشاكل لم تبدأ الا بعد عقدين من الزمن من اكتشاف الاشعاع وبالرغم من الجهود المبذولة لغاية الوقت الحاضر فانه قد ظلت هناك شكوك كثيرة واختلافات مهمة لتفسير تأثيرات الاشعاع.

كما ان الاشعاع بوصفه عاملا خطر قد حظي باهتمام واسع من الرأي العام ولقد دعت جماعات متعددة الى نبذ استعماله حيث ادعت ان الصالح العام الناتج عنه اقل من مضاره ومما ساعد على ذلك انه لا يمكن رؤية الاشعاع او سماعه او تحسسه من قبل البشر ولذلك فان له قابلية كبيرة على الاذى ليس فقط فيما يخص الافراد ولكن كذلك فيما يخص الاجيال المقبلة.

ومن الممكن معرفة وجود الاشعاع المؤين بصورة افضل من اي مادة اخرى كما ان من الممكن قياسه بصورة افضل بمستويات تقل كثيرا عن مستوى العوامل الاخرى المسببة للضرر والمشاكل الصحية وانه لو جرى تطبيق المبادىء والنواحي العملية لعلم السموم على الاشعة المؤينة فانه يتوقع ان يتم تخفيض الضوابط الشديدة الموجودة على الاشعاع المؤين الى درجة كبيرة.

1.9 تاريخ نشوء الوقاية من الاشعاع

من الممكن تقسيم نشوء اسس الوقاية من الاشعاع الى احدى عشرة فترة هي

الفترة الاولى (1895 – 1913) : لم يكن خلال هذا الوقت اي جهـد جماعي منتظم لغرض وضع معايـير للوقايـة من الاشعاع. (Protection standards) بالرغم من الاهتمامات المؤقتة بالحاجة الى الوقاية من الاشعاع.

الفترة الثانية (1913– 1922) : وخلال هذه الفترة اتخذت اول اجراءات جماعية في بداية هذه الفترة ولكن اتمام هذه الجهود قد تأخر بفعل قيام الحرب العالمية الاولى التي دارت من سنة 1914 لغايـة سنة 1918 وبسبب الحـرب فان استعمال الاشعة السينية قد ازداد كثيرا لتلبية احتيـاجات الجيـوش. لقد تم خلال هذه الفترة استعمال انبوب كوليج (Hot – cathode Coolidge tube) حيث ادى ذلـك الى حدوث اصـابـات لعـدد من العـاملين في حقـول الاشعـاع (Radiologists) ونتيجة لذلك فقد تم وضع وصايا عامة للوقاية من الاشعاع من قبل هيئة الاشعة السينية والحماية من الراديوم البريطانية (British X – ray and radium protection committee) والهيئـات المماثلة في الـولايات المتحـدة الامريكية والمانيا ولم يتبلور خلال هذه الفترة اتفاق حول القياسات الفيزياوية.

الفترة الثالثة (1922 – 1928) : بالاضافة الى الاجراءات المتخذة في بريطانيـا والولايات المتحدة الامريكية والمانيا فقد بدأ نشوء مجاميع في كل من هولندا والسويد والدنمارك وغـيرها من الـدول ولقد ابتـدأ في ذلك الحـين تحول في استعمال الوحدات البايولوجية لجرعة احمرار الجلد (Skin erythema dose) الى الوحدات الفيزياوية بالاستنـاد بالـدرجة الاسـاس الى قياسـات التأين. ان المقترح الاول للجرعة التي يمكن احتمالها (Tolerance dose) قد تم وصفه.
كما ان الاجتماع العالمي الاول لمجلس اطباء الاشعاع (First International Congress of Radiology) الذي عقد في سنة 1925 قد لاحظ الحاجة الى اتخاذ اجراء في مجال الوقاية من الاشعاع ولكنه قد اجل اتخاذ قرار رسمي لحين اجتماع المجلس الثاني الذي تم عقده في سنة 1938 ولقد جرت في تلك الفترة فعاليات كبيرة جدا في مجال تقدير وقياس الاشعاع.

الفترة الرابعة (1928 – 1934) : لقد تم تـأسيس الهيئة العـالمية للوقـاية من الاشعـــاع (International Commission on Radiological Protection) اثنـــاء

اجتماع المجلس العالمي الثاني لاطباء الاشعة وقد قام باصدار اول مجموعة من الوصايا العالمية للوقاية من الاشعاع ولقد جرى تأسيس هيئة اخرى في سنة 1929 في الولايات المتحدة الامريكيـة هي الهيئة الاستشـارية للوقـاية من الاشعة السينية والراديوم (The Advisory Committe or X – ray and Radium Protection) والتي غير اسمها لاحقا الى المجلس الوطني للوقاية وقيـاسات الاشعـاع (National Council on Radiation Protection and Measurements)
ان الفعاليات في مجال الوقاية من الاشعاع الالمانية قد نتج عنها سلسلة DIN حيث تم توفير النتائج الكمية. ان اعتماد الـرونكن العالمي (International Roentgen) ورمزه r في سنة 1928 قد ادى الى اعتماد قيمة عددية للجرع التي يمكن احتمالها لقد جرى بعد ذلك اعادة تعريف الـرونكن لكي يشمل الاشعة السينية ذات القدرة العاليـة (Higher Voltage X – rays) وكذلـك استعمال اشعة كاما المنبعثة من الراديوم وبهذا تم التمكن من توسيع مجـال استخدام الجرع التي يمكن احتمالها. ان المشاكل التي حدثت مع اشعة الفا وبيتا والنيوترونات قد ادت الى البحث عن وحدات وكميات جديدة وطرائق لحساب الجرع.

الفترة الخامسة (1934 – 1941): لقد جرى تكثيف للوصايا بالاستناد الى الجرع التي يمكن احتمالها للاشعة السينية والجرع التي يمكن احتمالها وقيم التحمـل الجسيمة (Body – burden values) للراديوم. لقد ابتدأ الاهتمام في هذه الفترة بالتأثير الوراثي للاشعاع وقد اصبح استعمال انابيب توليد الاشعة السينية في اوعية ذات حواجز سميكة قاعدة وقائية.
الفترة السادسة (1941 – 1946): لقد تم تطوير مشروع الطاقة الذرية بصورة سرية في الولايات المتحدة الامريكية تحت غطاء ظروف الحرب وقد رافق ذلك تجـارب مستفيضـة عـلى التجـارب الـطبيـة الحيـويـة (Biomedical – experimentation) وعلى التقدير. ان قيم الجرع التي لا يمكن احتمالها قد تم

اعتمادها في سنة 1944 وقد استعملت بعد التأكد من انها تبدو كافية لانواع الاشعاع الجديدة. لقد تم ادخال وحدات الريم (rem) والريب (rep) .

الفترة السابعة (1946 – 1953): لقد تم استنباط قواعد فلسفية واسعة حول الخطر من الاشعة وحول مقاييس الوقاية من الاشعاع اول مرة مع الاخذ بنظر الاعتبار كثيرا من انواع الاشعاع وحالات التشعيع التي يجب التعامل معها ولقد ابدل مفهوم الجرع التي يمكن احتمالها بمفهوم الجرع القصوى المسموح بها (Maximum permissible dose concept) كما ان الوقاية من الاشعاع قد حظيت باهتمام جديد وفي بريطانيا اصبحت هيئة البحوث الطبية (Medical Research Council) هي الجهة الاستشارية للحكومة ولقد اجريت تجارب على الاسلحة النووية مما ولد اخطارا على مستوى لم يكن سائدا قبل ذلك الوقت ولقد وضعت وصايا متطورة على المستوى الوطني والعالمي في بلدان متعددة.

الفترة الثامنة (1953 – 1959): لقد تم القيام بتجارب واسعة على الاسلحة النووية من قبل عدد من البلدان مما نتج عنه تساقط المواد المشعة على النطاق العالمي مما سبب تعرض سكان العالم الى الاشعاع حيث سبب ذلك مشاكل بيئية خطيرة. لقد انصب الاهتمام العالمي على هذه المشاكل ليس فقط فيما يخص العاملين في حقول الاشعاع وانما لعامة الناس كذلك. ولقد ظهرت فكرة الجرع الوراثية المؤثرة (Genetically significient dose) ولقد بدأ الاهتمام كثيرا بالتعرض الى الاشعاع وبضمنه التعرض الى الاشعاع الناتج عن الخلفية الاشعاعية ومن التعرض الطبي. لقد كانت هنالك مجموعتان رئيستان في العالم فقط مهتمتان بالوقاية من الاشعاع في بداية هذه الفترة هما ICRP وNCRP ولكن في بداية سنة 1955 اهتمت منظمات وطنية وعالمية جديدة بهذه المشكلة وقد شمل ذلك الامم المتحدة التي قامت بانشاء الهيئة العلمية لتأثيرات الاشعة الذرية U.N. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation ومختصرها UNSCEAR ومجمع العلوم الوطني الامريكي (U.S. National Academy of Science) الذي انشأ مجموعة استشارية حول التاثير البايولوجي للاشعة الذرية (Ad Hoc Committee on the Biological Effects of Atomic

الخاصة بالخطورة على الانسان من الاشعاع الذري (Himswovth Committe on the Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiation) وجنة البحوث الطبية البريطانية التي انشأت لجنة همسورث Radiation) وقد نظمت في الولايات المتحدة كذلك لجنة الاشعاع الاتحادية (Federal Radiation Council) لغرض وضع معايير الوقاية. لقد ابتدأت في الولايات المتحدة لجنة مشتركة للطاقة الذرية (Joint Committee on Atomic Energy) التي استمعت الى سلسلة من المناقشات التي تركزت على مشاكل الاشعاع لتلك الفترة. لقد اقيم اول مؤتمر للذرة من اجل السلام (Atom for peace Conference) في سنة 1955 تبعه مؤتمر ثاني في سنة 1958 الذي تم التركيز فيه على مشاكل الوقاية من الاشعاع.

لقد ابتدأ قلق السكان عالميا حول المشاكل التي حدثت على النطاق العالمي ولقد اتسعت عمليات لجنة الطاقة الذرية الامريكية كثيراً ولقد ساهمت التجارب على الاسلحة النووية لكل من الولايات المتحدة الامريكية والاتحاد السوفيتي وانكلترا وفرنسا في ازدياد النشاط الاشعاعي في الطبيعة الناتج من المتساقطات الذرية. لقد كثر القلق حول التأثير الوراثي للاشعاع ولقد ابتدأت المقارنة بين الخطورة المتولدة من الاشعاع والخطورة الناتجة من مهن اخرى كالتعدين والبناء.

الفترة التاسعة (1959 – 1965): لقد كانت هذه الفترة فترة تعبئة حيث تم ايقاف التجارب على الاسلحة الذرية في كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي وقد تم الحصول على معلومات جديدة لا تثير القلق حول التأثير الوراثي للاشعاع ولقد تم تقييم الحالة على مستويات عالية من قبل الامم المتحدة وهيئات ICRP و NCRP والمجاميع الاخرى.

لقد اجرت اللجنة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP) سلسلة من الدراسات المتعلقة بتأثيرات الاشعاع التي ادت الى فهم اوضح لهذه التأثيرات ولقد بدأت الدلائل تشير الى ان لربما كانت التأثيرات الجسمية (Somatic

effects) اكثر اهمية ومدعاة لقلق اكثر من التأثيرات الوراثية ولقد بدأت معلومات قيمة بالتراكم نتيجة تحليل تأثير الاشعاع على سكان اليابان الذين تعرضوا الى الاشعة نتيجة تفجير القنابل الذرية ،

الفترة العاشرة (1965 – 1977) : لقد تميزت هذه الفترة بتكثيف البحوث التي جرت في السنوات السابقة بالاضافة الى دخول الموضوع الى السياسة بحيث اصبحت الوقاية من الاشعاع احد المواضيع التي يتحدث فيها الساسة. ان الاهمية الكبرى للتأثيرات الجسمية مقارنة بالتأثيرات الوراثية قد جرى تأكيدها بينما بقيت الاسباب الاساسية لتأثيرات الاشعاع غير محسومة.

لقد ظهرت مشكلة مهمة جدا وهي ردم النفايات المشعة عالية النشاط الاشعاعي وذات اعمار نصف طويلة جداً وخاصة البلوتونيوم.

الفترة الحادية عشرة (1977 – 1986) : لقد حدث تغيير جذري خلال هذه الفترة حيث اصدرت اللجنة العالية للوقاية من الاشعاع عام 1977 تقريرها رقم 26 (ICRP publication 26) الذي وردت فيه المفاهيم جديدة خالفت كثيرا من الناحية المتعلقة بالوقاية من الاشعاع وحدود الجرع المسموح بها قبل ذلك الوقت. لقد ظهر في هذا التقرير نظام جديد للوقاية من الاشعاع هو نظام تحديد الجرع الذي تم التكلم عليه في الفصل الثامن بصورة مفصلة. ان الاختلافات الرئيسة عن المفاهيم السابقة تتعلق في ان حدود التعرض السابقة تعتبر الحدود العليا للمستويات السليمة وقد اوصى بها بوصفها هدفا للوصول اليه في التصميم والتخطيط ولقد كان مقبولا بالعمل لغاية الوصول الى حدود الجرع الموضوعة وانه لم يكن يوجد تشجيع لخفض الجرع الى اقل من المستويات التي تكون تحت الحد الاقصى بينما تبلغ حدود الجرع الحالية الحدود الدنيا للمستويات غير المقبولة حيث انه عندما تكون الجرع اقل من الحدود فان ذلك لا يعني ظروفا للقبول. ان التوصية الاساسية هي ابقاء الجرع الى اقل ما يمكن الحصول عليه بصورة منطقية بالاضافة الى تغيير الحدود المسموح بها لتراكيز المواد المشعة في الماء والهواء الى الحدود السنوية للتناول وتراكيز الهواء المشتقة بالاضافة الى الغاء الحدود الربعية الواردة قبل توصية سنة 1977

والغاء المعادلة المتعلقة بالعمر D = 5(N – 18) ومن التطورات الاخرى التي حدثت في هذه الفترة اعتماد وحدات SI بدلا عن الوحدات القديمة في مجال الوقاية من الاشعاع. لقد صدر في العراق قانون جديد للوقاية من الاشعاع في سنة 1980 وهو القانون رقم 99 حيث سمى القانون هيئة للوقاية من الاشعاع من المختصين في مجال الوقاية من الاشعاع واسس بموجب القانون مركز للوقاية من الاشعاع ولجنة طبية خاصة بالعاملين في حقول الاشعاع. لقد شهدت هذه الفترة تطورا خطيرا جدا يزيد من متطلبات الوقاية من الاشعاع. ولا سيما وقاية السكان بالدرجة الاساس حيث قام العدو الصهيوني بضرب المفاعل النووي العراقي المخصص للاغراض السلمية. ان من المحتمل ان تحصل تطورات اخرى في مجال الوقاية من الاشعاع للفترة التي تلي سنة 1986 ومنها ابطال استعمال الوحدات القديمة في سنة 1985 ولربما شهد كذلك تقليلا لحدود الجرع المسموح بها وخاصة لمطلقات جسيمات الفا كما ان حادثة شرنوبيل في الاتحاد السوفيتي لعام 1986 سوف تؤدي بلا شك الى اعادة النظر في كثير من المفاهيم والاجراءات المتعلقة بالوقاية من الاشعاع.

2.9 تطور حدود الجرع الاشعاعية

لقد تطورت الوصايا الخاصة بالوقاية من الاشعاع منذ سنة 1925 لحد سنة 1977 ان اولى الوصايا كان 0.1 جرعة الاحمرار (Erythema dose) في السنة 1925 حيث اقترحت من قبل A. Mutscheller و R.M Sievert ولقد كانت تساوي هذه الجرعة نحو 30 R في السنة من 100 KeV اشعة سينية او 70 R في السنة من 200 KeV اشعة سينية. في سنة 1925 اوصت الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع ICRP بـ 0.2 R في اليوم وفي سنة 1937، IR في الاسبوع وخلال الثلاثينيات لم تعط الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع اية توصيات بشأن تعرض اجزاء الجسم او حول التلوث الداخلي. لقد ظهرت الاشارة الاولى الى حدود الجرع للاعضاء بصورة منفردة

التي كانت تساوي (International Roentgen) في ذلك الحين (r)

ضمن وصايا الـ ICRP في سنة 1950 وفي هذه الوصايا تم التمييز بصورة واضحة بين تعرض عموم الجسم وبين ما دعي بالنسيج الحرج (Critical tissue) ولقد تم تخفيض الجرعة الى 0.5 R في اي اسبوع واحد والتي تساوي 0.3r في الاسبوع مقيسة في الهواء (Free air) ولقد فسر السبب بأن التوصية السابقة والبالغة 1r في الاسبوع على ما يبدو قريبة من الحد الحرج لحدوث التاثيرات الضارة.

اما تشعيع عموم الجسم بواسطة اشعة بيتا ذات الطاقة العالية فان الحدود لسنة 1950 كانت فيضا بحيث تكون الطاقة الممتصة في الانسجة السطحية مكافئة الى اشعة كاما القوية (Hard gamma rays) ولقد اعطيت نفس القيمة الى تعرض الكفوف والسواعد الى الاشعة السينية واشعة بيتا وكاما وهي على ما يبدو منشأ حدود الجرع المستعملة والتي مقدارها 75 rem للكفوف والتي شملت لاحقا الاقدام والكاحل حيث ظهرت اول مرة ضمن توصيات عام 1954 ولقد تم الغاء هذه الحدود بتوصيات 1977.

ان توصيات عام 1950 قد نصت على ان حدود الجرع قد وضعت بالدرجة الاساس لعموم الجسم ومع ذلك فان تعرضا الى جرع اعلى يجب ان لا يسمح به لاي عضو او نسيج ما عدا حالة الكفوف والسواعد. لقد ظن ان جرعة 0.3 r في الاسبوع تمثل رقما مناسبا لتعرض اي نسيج حرج ما عدا الجلد وبهذا فان قيمة الـ 03 r في الاسبوع توازي حدود الجرع بالمفاهيم الحالية المساوية الى 15rem في السنة والتي اوصي بها لجميع الانسجة تقريبا لغاية سنة 1977 . ان هذه القيمة قد استعملت لحساب التراكيز القصوى المسموح بها.

(Maximum permissible concentiations) ومختصرها MPCs لعدد من النويدات المشعة بضمنها الكوبلت - 60 (الكبد) واليود - 131 (الغدة الدرقية) ولذا فانه في سنة 1950 كانت حدود مكافىء الجرع لكل الانسجة ما

عدا الاطراف تبلغ 15 rem ومن سنة 1951 فصاعدا جرى احداث بعض التغييرات لاعضاء وانسجة معينة في الجسم وعلى النحو الاتي

أ ـ الاعضاء (الغدد) التناسلية (Gonads) : لقد تم ذكرها لاول مرة في توصيات (ICRP) في عام 1954 وذلك لعلاقتها بالخصوبة وفي ذلك الحين كانت حدود الجرع تبلغ 300 mr في الاسبوع وفي سنة 1956 عدلت التوصيات حيث خفضت الى 0.1 rem في الاسبوع ولقد تم ذكر التأثيرات الوراثية بصورة واضحة عام 1956 والتي حددت الجرع للاعضاء التناسلية على شكل معادلة (D =5(N −18) مع سرعة تراكم قصوى مقدارها 3 rem في ربع سنة ولكن مع هذا فانه لا في وصايا عام 1959 ولا وصايا عام 1965 قد تم ربط التأثيرات الوراثية بتشعيع الاعضاء التناسلية ولهذا فان حدود الجرع الحالية للاعضاء التناسلية البالغة 5 rem في السنة المحددة بالمعادلة الملغاة لم ينص على ان الغرض منها تقليل التأثيرات الوراثية.

ب ـ نخاع العظام الاحمر: لقد ظهر هذا المصطلح لاول مرة في وصايا عام 1965 والذي كان يقع سابقا ضمن جملة اعضاء توليد الدم التي ظهرت في وصايا عام 1950 ولكن لم يظهر ايضاحا لما هو مقصود بهذه الجملة ولا عن اهميتها الحيوية وحتى في وصايا عام 1965 التي اشير فيها عدة مرات الى الحث على حدوث مرض السرطان الدم (Leukemia) لم يجر عزو هذا التأثير الى تشعيع لنخاع العظام الاحمر ولم يعط اي سبب للتغيير من الاعضاء المولدة للدم الى نخاع العظام الاحمر ولكن قد تمت الاشارة الى هذا الموضوع خلال المؤتمر الذي عقد في سنة 1949 (Chalk River Confecence). الى ان الاعضاء المولدة للدم تعتبر ذات اهمية في نشوء مرض سرطان الدم وان هذه الاعضاء قد اعتبرت الطحال والنخاع الذي يقع على مسافة 5 سنتمتر تحت سطح الجسم وهذا هو العمق الذي اعطي في توصيات سنة 1950 وسنة 1954 للاعضاء المولدة للدم والتي حددت جرعها بـ 0.3 r في الاسبوع. ان هذه القيمة قد جرى تخفيضها في توصيات سنة 1957 الى كمية تحدد في المعادلة

$D = S(N - 18)$ الملغاة حاليا مع اضافة الفقرة بأن الجرع المتراكمة في اية ربع سنة لا تتجاوز 3 rem . اما الاعضاء التناسلية فإن الحدود الحالية قد اعطيت الى نخاع العظام في وصايا عام 1965 دون ذكر سبب واضح.

جـ - الجلد : بالرغم من ذكر الجلد في وصايا عام 1950 والذي نص على انه استثناء واضح للانسجة التي لها حدود جرع مقدارها 0.3 r في الاسبوع فانه لم تعط حدود جرع للجلد. ان حدود الجرع الوحيدة التي قد تنطبق على الجلد هي 1.5 r في الاسبوع والتي حددت لتعرض الايدي والسواعد وفي سنة 1954 اوصي بحدود جرع مقدارها 0.6r في الاسبوع تنطبق على الطبقة الاساسية للبشرة (Basal layer of epidermis) في مساحة ذات اهمية مقدارها 1سم2 ان اسس قيمة 0.6r في الاسبوع تبلغ 30rems في السنة على ما يبدو انها الجرع السطحية المماثلة الى 0.3r على مسافة 5سم والتي افترضت بصفة موقع للاعضاء المولدة للدم.

ان حدود الجرع للجلد بقيت دون تغيير منذ وصايا عام 1954 ولم تعط مبررات للقيمة 30 rems في السنة التي اعطيت في وصايا عام 1965.

د - العظام: هنالك توصية مبكرة حول الراديوم في الجسم ظهرت في كتاب NBS Handbook H27 المنشور في سنة 1941 وتنص على ان اي عامل يظهر ترسب مقداره 0.1 جزء بالمليون من الغرام من الراديوم الذي يظهر في هواء الزفير يجب ان يغير مهنته حالا وانه يجب علاجه بازالة التكلس (Decal-cification therapy) او اي اجراء اخر مستنبط لهذا الغرض وعلى ما يبدو فانه لم تستعمل مثل هذه الاجراءات.

ان وصايا 1950 الصادرة من قبل ICRP تنص على ان الحد الاقصى للراديوم المثبت في الجسم هو 0.1 مايكروكيوري وان هذه القيمة قد اعطيت كذلك في وصايا عام 1959 ان هذا الحذف قد تم علاجه في اضافة اجريت في عام 1960 والتي اشتملت على قيمة 30 rems في السنة للعظام استنادا الى كمية 0.1 جزء بالمليون من الكيوري من الراديوم - 226 موجودة في الجسم. ان وصايا عام 1965 لم تشر الى الراديوم وقد اعطت

قيمة 30 rem في السنة بوصفها حدودا للجرع فيما يخص العظام. ان العامل المحدد لقاصدات العظام (Bone seekers) حسب توصيات ICRP يجب ان يستند الى الجرع للخلايا الحرجة في العظام بدلا من معدل الجرع الى كل العظام. ان الخلايا الحرجة تكون موجودة على سطوح العظام (Endosteal cell) والتي تنطبق على حدود 15 rems في السنة وخلايا نخاع العظام الاحمر التي تنطبق عليها حدود 5 rems في السنة لغاية 1977.

هـ - الغدة الدرقية: لقد ذكرت اول مرة في وصايا عام 1950 الصادرة من قبل ICRP حيث اعطيت قيمة 0.3 r في الاسبوع بصفة حد للجميع وفي وصايا عام 1959 اعطيت قيمة 30 rem في السنة بصفة حد اقصى للغدة الدرقية وقد استثنيت الغده الدرقية للاطفال تحت سنة 16 سنة من هذه الحدود وخفضت الجرعة العليا المسموح بها الى 1.5rem في السنة لانه ربما تكون الانسجة المكونة للغدة الدرقية لهؤلاء الاطفال اكثر حساسية للاشعاع من انسجة الغدة الدرقية للبالغين ويوضح الجدول 1.9 الذي ظهر في منشور اللجنة العالمية للوقاية من الاشعاع ICRP الرقم 9 لسنة 1965 (ICRP Publication 9) اصل حدود الجرع الحالية.

ولقد تبدلت هذه الحدود في سنة 1977 في تقرير الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP) الرقم 26 (ICRP Pulication 26) الصادر في سنة 1977 الى 5 rem (50 mSv) في السنة لعموم الجسم للعاملين و 50rem (500 mSv) في السنة لكل الاعضاء والانسجة الاخرى ما عدا عدسة العين التي تكون حدود الجرع لها 15rem (150mSv) للعاملين في حقول الاشعاع و 1/10 هذه الجرع لعامة الناس.

الجدول 1.9 اصل حدود الجرع الاشعاعية الحالية

العضو او النسيج	الجرع القصوى المسموح بها للبالغين المعرضين الى الاشعاع نتيجة عملهم في السنة	حدود الجرع لعامة الناس في السنة
الاجهزة التناسلية ونخاع العظام الاحمر	5 rem	0.5 rem
الجلد والعظام والغده الدرقية	30 rem	3 rem
الايدي والاذرع والاقدام والكاحل	75 rem	7.5 rem
اي عضو مفرد	15 rem	1.5 rem*

* 1.5 rem الى الغدة الدرقية للاطفال لغاية 16 سنة

معامل النوعية (Quality factor)

ان معامل النوعية قد اعطي من قبل الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP) وقد اعطيت قيم لمعامل النوعية Q (الجدول 2.9) في منشورها رقم (ICRP Publication 26) لقيم مختلفة لقوة ايقاف الارتطام (Collision Stopping Power) في الماء (L_∞) في النقطة المثيرة للاهتمام.

ان القيم التي في الجدول 2.9 قد رسمت لمعامل النوعية بدلالة L_∞ في الماء (الشكل 1.9).

ان قيم Q المعطاة بدلالة L_∞ من قبل هيئة الـ ICRP اذا كانت معروفة في النقطة المثيرة للاهتمام وانه لا توجد اي معاملات تحوير اخرى فيكون

$$H = \int_{0}^{\infty} Q\,(L_{\infty}) \cdot \frac{dD}{dL_{\infty}} \cdot dL_{\infty} \quad \text{......} (9.1)$$

$$\bar{Q} = \frac{H}{D} = \frac{1}{D}\int_{0}^{\infty} Q\,(L_{\infty}) \cdot \frac{dD}{dL_{\infty}} \cdot dL_{\infty} \quad \text{...} (9.2)$$

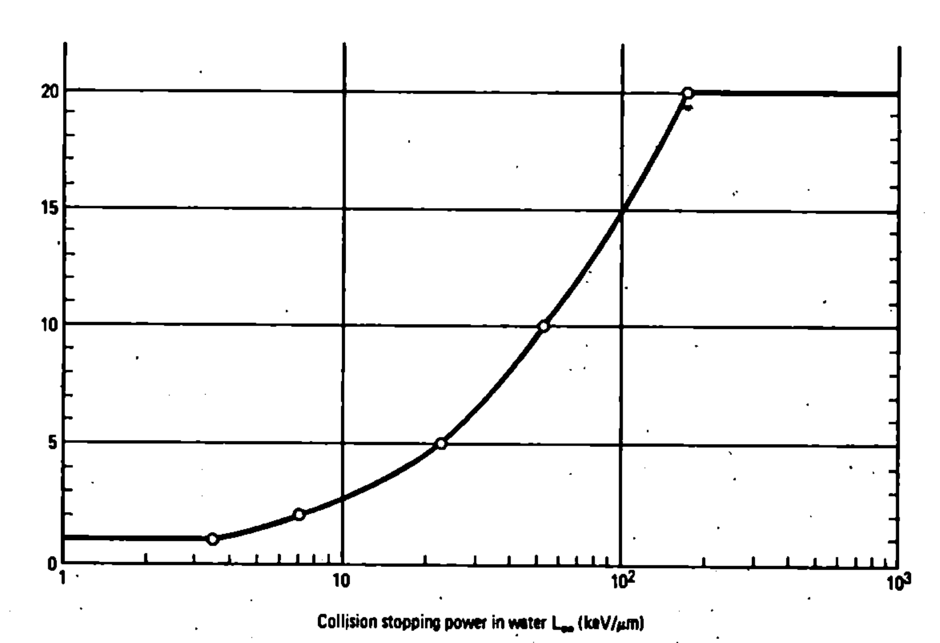
وان معدل معامل النوعية Q في النقطة المثيرة للاهتمام يمكن ان يحسب كما في المعادلة

وعندما لا يعرف توزيع الاشعاع في L_{∞} في جميع النقاط في الحجم المثير للاهتمام فان من المسموح به استعمال قيم تقريبية لـ Q لها علاقة بالانواع المختلفة من الاشعاع الابتدائي . ان من الممكن استعمال القيم التي في الجدول 3.9 لهذا الغرض للاشعاع الخارجي والاشعاع الداخلي.

الجدول 2.9 علاقات معامل النوعية Q مع قيم قوة الايقاف الارتطامي (L_{∞}) في الماء

L_{∞} في الماء (KeV/μm)	≤ 3.5	7	23	53	≥ 175
معامل النوعية Q	1	2	S	10	20

المصدر IAEA (1982) 44



قوة الايقاف الارتطامي في الماء (L_∞) KeV/μm

الشكل 1.9 معامل النوعية بدلالة انتقال الطاقة المستقيم في الماء (L_∞)

المصدر IAEA (1982) 44

ان القيم المعطاة لمعامل النوعية Q التي في الجدولين 2.9 و 3.9 قد اعطيت للاستعمال في مجال الوقاية من الاشعاع فقط ولمقارنة مستويات التعرض الواقعية مع حدود مكافىء الجرع او لتقدير المكونات من الضرر التي اخذت بنظر الاعتبار عند وضع مثل تلك الحدود.

ان قيم Q و $\bar{Q}$ قد تم اختيارها استنادا الى القيم ذات العلاقة من قيم الفعالية البايولوجية (RBE) وكذلك الاخذ بنظر الاعتبار ان العلاقة بين الجرعة/التعرض التي استعملت لاشتقاق RBE قد استندت الى تحديد المقياس من الجرع العالية الممتصة التي يمكن عندها تقدير التغيرات المتلفة بصورة مباشرة في الانسان. ان هذه القيم لـ Q لا تكون بالضرورة ممثلة لقيم RBE للجرع الملاحظة الاخرى. ان من المهم بصورة خاصة ان مكافىء الجرع لا يستعمل لتقدير المترتبات المبكرة المحتملة للحوادث التي يحدث فيها تعرضا شديد للانسان.

الجدول 3.9 قيم متوسط معامل النوعية $\bar{Q}$

نوع الاشعاع	متوسط معامل النوعية
الاشعة السينية واشعة كاما والالكترونات	1
والنيوترونات والبروتونات والجسيمات المشحونة المفردة التي لها كتلة استقرار اكثر من وحدة كتلة ذرية واحدة	10
جسيمات الفا والجسيمات المتعددة الشحنة	20

* للنيوترونات الحرارية $\bar{Q} = 2.3$

المصدر IAEA (1982) 44

4.9 تقدير الخطورة لاغراض الوقاية من الاشعاع

لغرض تعريف اسس جيدة للوقاية من الاشعاع فان من المهم تقدير اية خطورة محتملة بصورة كمية لاي تعرض للاشعاع. ان الخطورة الجسمية للافراد تنتج بصورة رئيسة من تحفيز حدوث مرض السرطان في العضو المشعع وان هذه الخطورة يمكن ان تقدر اعتمادا على تفاصيل الدراسات المرضية المتعددة للبشر المعرضين الى الاشعاع. ان تقدير خطورة التأثيرات الوراثية من التغييرات الوراثية التي تحدث في الخلايا الجسمية تستند بالدرجة الاساس الى التكرار الذي يحدث في مثل هذه التأثيرات. ان الخطورة للجرع الاشعاعية الواطئةجدا يمكن الاشارة اليها باستعمال معرفة طريقة حدوث التلف الاشعاعي في الانسجة.

ان سياسة الوقاية من الاشعاع تستند الى تحديد الجرع الى عموم الجسم والى الاعضاء بصورة منفردة بحيث يؤدي ذلك الى الحث على حدوث مرض السرطان والتأثيرات الوراثية بصورة متقطعة وانه لا يتم تجاوز الحدود الحرجة للجرع التي تسبب تأثيرات غير خاضعة للاحتمالية.

ان دراسة خطورة الاشعاع الكمية قد اصبحت اساسية عندما تم ادراك ان اي تعرض مهما كان صغيرا ربما يسبب في بعض الاحيان تأثيرا ضارا. وعندما لا يمكن اعتبار اي تعرض من الاشعاع خاليا من الضرر بصورة كاملة فانه يجب تقدير ومعرفة كمية الخطورة المرافقة او درجة السلامة الموثوقة فيها اذا حوفظ على التعرض تحت حدود الجرع الموصى بها.

ان من غير الكافي تقدير خطورة تشعيع الجسم كله حيث ان بعض النويدات المشعة تحجب بصورة مختارة في بعض اعضاء الجسم دون غيرها ان من المهم تقدير تكرار الضرر وخاصة تحفيز حدوث مرض السرطان الذي يمكن ان يحدث من تعرض ذلك العضو في الاقل لتلك الاعضاء التي يمكن ان يحفز حدوث مرض السرطان فيها بتكرار مهم.

ان القيم العددية لهذه التغييرات تحتاج الى الاعتماد على خبرة بشرية وذلك لان تكرار تحفيز حدوث مرض السرطان في الحيوانات يتغير كثيرا باختلاف الانواع وغالبا من ضرب لاخر وبهذا فان تمديد المقياس الكمي الى الانسان لا يمثل تقديرا موثوقا ولقد كان ذلك وما زال مسألة كبيرة وصعبة. لقد تقدم الحل كثيرا في السنوات العشر الاخيرة نتيجة اكمال عدد من المسوحات المرضية والتي تم خلالها تسجيل تكرار عدة انواع من امراض السرطان في مجاميع من السكان المعرضين للاشعاع لاسباب علاجية واسباب اخرى وتتم مقارنة ذلك بالتكرار في السكان المستغلين في المقارنة الذين يكونون غير معرضين الى الاشعاع ولمعظم هذه المسوحات فانه قد تم تتبع حالات حدوث المرض واسباب الوفاة لمدة 20 سنة او اكثر وهي المدة المحتاجة لغرض تقدير حالات حدوث مرض السرطان الكلية المحفزة بالاشعاع.

ان الخطورة للتعرض لعموم الجسم ولاربعة اعضاء وانسجة مفردة هي نخاع العظام والغدة الدرقية والرئة وثدي المرأة لتحفيز السرطان القاتل تبلغ $10^{-2}x2$ لكل غراي او اكثر ويمكن تقدير الخطورة التقريبية لعشرة اعضاء او اكثر تبلغ ($10^{-3}x1$) غراي او اقل.

لقد تم الحصول على معلومات موثوقة من التتبع الطويل الامد لمجاميع من الناس الذين تسلموا جرعا محددة من الاشعاع نتيجة ثلاثة انواع رئيسة من التعرض.

1 ـ من العمليات الاشعاعية وخاصة العلاج بالاشعة الذي يعطى في الاورام غير الخبيثة (Benign conditions) وبعض انواع التشخيص بالاشعة.

2 ـ من الاسلحة الذرية وبالدرجة الاولى من هيروشيما وناكازاكي بالاضافة الى المتساقطات المحلية من تجارب الاسلحة النووية في جزر مارشال.

3 ـ من التعرض المهني في مناجم اليورانيوم وفي صناعة الراديوم الوهاجة.

1.4.9 تقدير الخطورة لعموم الجسم

ان التشعيغ المتجانس لعموم الجسم لجرع متوسطة 1 غراي او اقل يتوقع ان تكون جميع الخطورة السرطانية لعموم الجسم مساوية الى مجموع الخطورة المقدرة لجميع اعضاء الجسم. وبالتأكيد فانه في هذه المستويات من الجرع وتكرار حدوث مرض السرطان فان الخطورة في تحفيز مرض السرطان المميت في عضو واحد سوف لا ينخفض بصورة كبيرة بسبب اي سرطان مميت يحدث في الاعضاء الاخرى وان اي خلل في الهرمونات والمناعة الذي يؤدي الى الموت سوف يكون مستحيلا في هذه المستويات من الجرع وعلى هذا الاساس فان المجموع الكلي لامراض السرطان المميتة على ما يبدو يقع في مجال $10^{-2}x1$ الى $10^{-2}x2$ لكل غراي لتشعيع عموم الجسم. ان هذا التقدير متناغم مع ما وجد في الدراسات التي اجريت على الناجين من هيروشيما وناكازاكي. ان الزيادة في خطورة مرض سرطان الدم قد بلغت نحو $10^{-2}x0.25$ غراي وان تلك الزيادة لجميع امراض السرطان الاخرى تصل الى $10^{-2}x1$ غراي اذا ما استمر في المعدل الملاحظ حاليا وهو $10^{-6}x0.22$ غراي في السنة لمعدل 40 سنة في السكان الذين تعرضوا عندما كانت اعمارهم 30 سنة.

ان هذه القيمة تتناغم كذلك مع الخطورة لمرض سرطان الدم المقدرة $10^{-2}x0.15$ غراي الى $10^{-2}x0.25$ غراي المشتقة من المسوحات المرضية ومع النسبة الملاحظة لكل 6,4 حالات وفاة من جميع الامراض السرطانية فيما يخص سرطان الدم وحده.

ان الخطورة الكلية لتحفيز مرض السرطان غير المميت لا يمكن تقديرها بثقة لعدم وجود تقديرات لتكرار حدوث مرض السرطان الجلدي غير المميت نتيجة تعرض عموم الجسم. اما جميع انسجة الجسم الاخرى فان مجموع الخطورة لامراض السرطان التي يمكن ازالتها او علاجها يحتمل ان تكون $10^{-2}x1.5$ لكل غراي والجزء الاكبر منها يأتي من الغدة الدرقية.

ان امراض السرطان على ما يبدو هي التأثير الجسمي الوحيد لجرع الاشعاع الواطئة والمتوسطة التي تساهم بصورة ملموسة في الموت والخلل في الصحة او تقصير فترة الحياة.

2.4.4 تقدير الخطورة لاعضاء الجسم

نتيجة المعلومات المرضية فانه من الممكن تقدير الخطورة لتحفيز السرطان لجرع متوسطة لبضعة غراي معطاة لاي واحد من اعضاء الجسم او الى عموم الجسم بصورة متجانسة.

ان المصادر المفردة لهذه التقديرات ربما تكون معرضة الى عدم التأكد النابع عن الصعوبة في الاختبار الكلي وتقدير الجرع او عدم كفاية معلومات المقارنة. اما المجاميع فانها تشير الى الحساسية النسبية لاعضاء الجسم المختلفة لتحفيز مرض السرطان مما يتيح تقدير العدد تقريبا لهذه الحساسية. في بعض الاحيان فانه قد تم الحصول على معلومات كمية حول الاختلاف في معدل تحفيز مرض السرطان مع العمر اما في وقت التعرض او في العمر الذي يظهر مرض السرطان.

ان الخطورة لتحفيز مرض السرطان بعد تشعيع الغدة الدرقية ولثدي المرأة تكون عالية حوالي $10^{-2}x1$ غراي ولكن الموت نتيجة لمرض السرطان المحفز للغدة الدرقية تكون قليلا بحيث تكون الخطورة لتحفيز امراض السرطان المميتة لهذه الغدة يتوقع ان يكون نحو $10^{-2}x0.5$ غراي بوصفها متوسطا للذكور والاناث (ربما يكون المعدل في الاناث ضعف الذكور). ان الخطورة لمرض سرطان الثدي المميت في الاناث يؤخذ على انه $10^{-3}x5$ غراي وانه يكون في الذكور واطئا جدا على الرغم من انه قد نشر بعض حالات تحفيز سرطان الثدي في الذكور نتيجة الاشعاع.

اما الرئة ونخاع العظام (في تحفيز مرض سرطان الدم) فان معدلات التحفيز تكون اوطأ بصورة واضحة حيث تبلغ نحو $10^{-3}x2$ غـراي لكلا حالات الحدوث والموت.

ان تشعيع المعدة والكبد والامعاء الغليظة والغدد اللعابية وربما الدماغ قد يؤدي الى معدل تحفيز يتراوح بين $10^{-3}x1$ لكل غراي الى $10^{-3}x1.5$ لكل غراي. ان بعض هذه المواقع وخاصة الغدد اللعابية تكون فيها الخطورة لمرض السرطان المميت اقل كثيرا. اما لعدد من الانسجة الاخرى فانه يمكن تقدير معدل الخطورة من المعلومات المرضية التي تدل على انها قليلة وربما تكـون مساوية الى او اقل من $10^{-3}x0.5$ لكل غراي. ان هذه الانسجة تشمل المرىء والبنكرياس والحالب والانسجة اللمفاوية والامعاء الدقيقة وكذلك الاغشية المخاطية للتجاويف القحفية (Cranial sinuses) الذي ربما ينشأ فيها مرض السرطان بعد تناول الراديوم - 226. اما الجلد فانه لا يوجد تقدير جيد متوفر حاليا بالرغم من تاريخ تحفيز امراض سرطان الجلد الطويل بالاشعاع. ومع هذا فان لمعظم امراض سرطان الجلد (ماعدا الورم القتاميني (Melanoma) التي لم تثبت انها تحفز بالاشعة المؤينة. فان الموت يكون واطئا جدا وربما اقل من 0.5% وربما تكون الخطورة لمرض سرطان الجلد المميت طفيفة.

3.4.9 التأثيرات الوراثية

ان تقديرات الخطورة الوراثية تستند في الوقت الحاضر الى الفئران مع اي تصحيحات ملائمة لاختلاف المادة الوراثية بين الانسان والفئران. ان الجرعة المضاعفة لاثني عشر نوعا مختلفا من الحالات الوراثية غير الطبيعية في ذكور واناث الفئران قد تراوحت بين 0.4 الى 2.6 وبمعدل 1.4 غراي (±0.2 S.E) للتعـرض الطويـل لاشعة كـاما والاشعـة السينية امـا اشعاع LET العالي مثل الفا والنيوتـرونات السريعـة فان معـدل ستة تقـديرات للجرعة المضاعفة كان 0.15 غراي (±0.07 S.E)

ان تقدير الخطورة الاشعاعية الوراثية قد استند الى الفرضية بان الجرعة المضاعفة المقارنة تؤخذ على انها 1 غراي من اشعاع LET الواطىء لمعدل جرع واطئة وهو من خواص التلف الوراثي للبائن وبذلك ربما يمكن تطبيقه على الانسان ايضا.

وعلى فرض ان الجرعة المضاعفة للانسان هي 1 غراي وبمعرفة التكرار الاعتيادي لجميع الحالات الوراثية غير الطبيعية التي يحافظ عليها بواسطة الطفرات فانه قد تم اشتقاق تقدير الخطورة للاذى الوراثي الرئيس الذي يظهر خلال الجيل الاول بنحو 10^{-2}x0.9 لكل غراي و 10^{-2}x0.35 غراي للجيل الثاني ومجموع 10^{-2}x3.2 لكل غراي لكل الاجيال اما فيما يخص الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع ICRP فان القيمة تكون 10^{-2}x1 لكل غراي لاول جيلين و 10^{-2}x2 لكل غراي لكافة الاجيال.

ان هذه القيم بالطبع تعبر عن الخطورة لتعرض الابوين قبل حمل الطفل.

ان التقديرات المتوفرة تسمح ببعض المقارنة بين التكرار النسبي للتأثيرات الجسمية والوراثية لمجتمع معرض معين. انه على ما يبدو يكون ممكن ان اي تأثير وراثي رئيسي يحفز بنحو تأثير واحد لكل 100 او 120 رجل غراي ربما يكون مشابها الى او اقل قليلا من ذلك الذي يحفز مرض سرطان مميت بمعدل واحد لكل 80 الى 100 رجل غراي لنفس التعرض السكاني.

5.9 الضرر الاشعاعي (Detriment)

وهو التأثير الاتلافي للتعرض الى الاشعاع الذي يكون باشكال متعددة تشمل التأثيرات الاحتمالية وغير الاحتمالية في الاشخاص المعرضين بالاضافة التأثيرات الاحتمالية في الاجيال المقبلة.

ان مفهوم الضرر الى الصحة يعبر عن التلف الكلي الى الانسان من التأثير الحيوي الذي يظهر بعد التعرض وفي الظروف المعرفة بصورة جيدة للتعرض وفي مستوى جرع معين ولتأثير مرضي معين يعرف بانه ناتج احتمالية الحدوث للتأثير Pi ومعامل الشدة المرافق g

ان معامل الشدة g لا يمكن ان يقدر بسهولة وان قيمته ليس فقط مترتبات التأثيرات الاتلافية (الموت، الخمول والمعاناة) ولكن كذلك متوسط الفترة الكامنة وفي بعض الاحيان تكون طويلة جدا. ان الاحتمالية العلاجية والشفاء بعد التأثير قد يكون ممكنا. ان الضرر Gj للفرد j يمكن ان يعبر عنه بصورة كمية بواسطة المعادلة

$$Gj = \sum_{i} P_{ij}\, g_{ij} \quad .... (9.3)$$

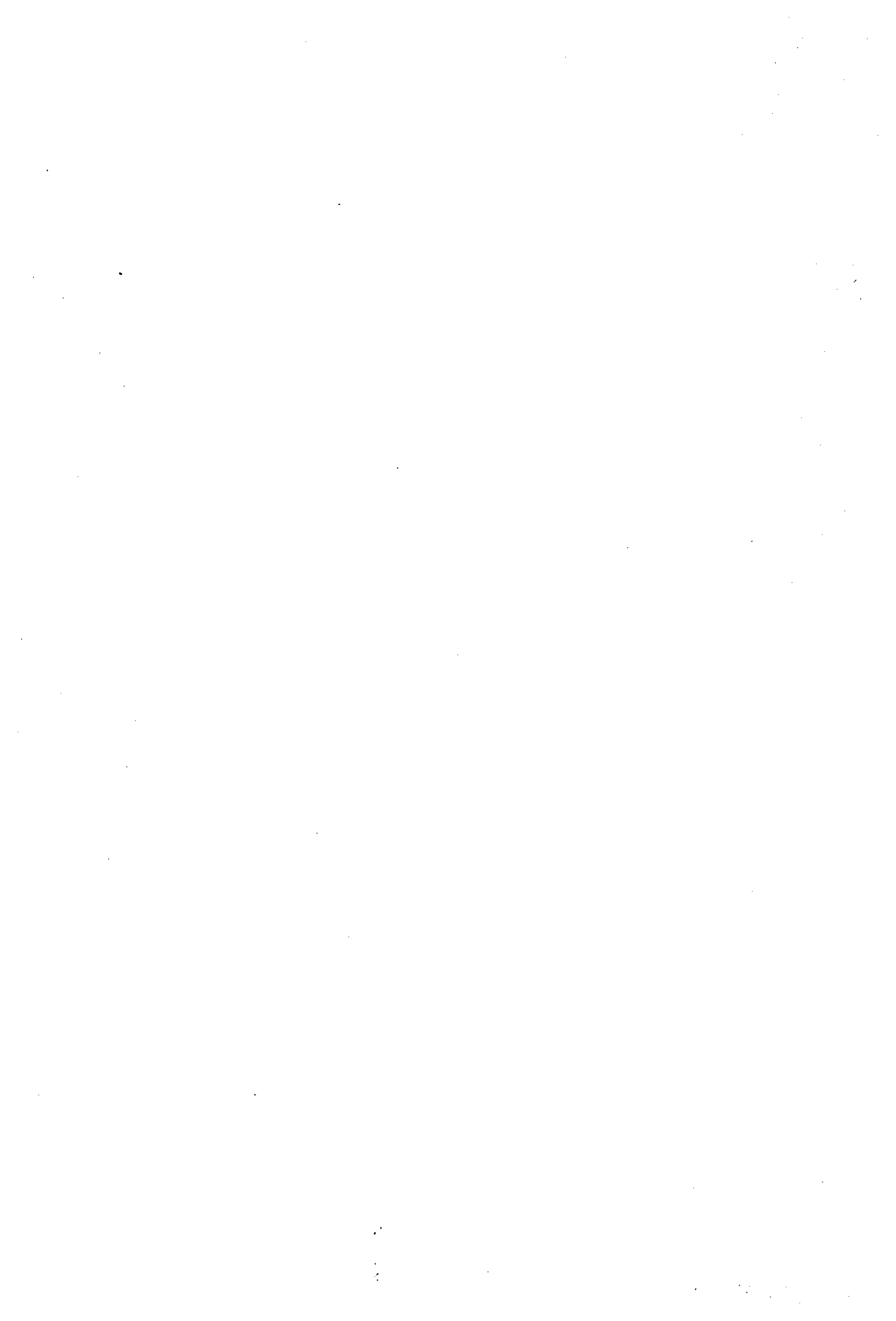
ولمجموعة P من الاشخاص (الضرر المتجمع) بواسطة

$$G = \sum_{j} Gj \sum_{j} \sum_{j} P_{ij}\, g_{ij} \approx P \sum_{j} P_i\, g; \quad .... (9.4)$$

اذا كانت المجموعة متجانسة. ان مفهوم الضرر الى الصحة يمكن ان يعني التأثيرات الاحتمالية والتأثيرات غير الاحتمالية وفي هذه الحالة فان الاحتمالية تكون دالة متزايدة للجرعة وان معامل الشدة لا يعتمد على الجرعة وعلى افتراض انها علاقة مستقيمة بدون حد حرج في الجرع الواطئة بين احتمالية التأثيرات الحيوية الاحتمالية للاشعاع ومكافىء الجرع والضرر المتجمع الى الصحة يتناسب بصورة مباشرة مع مكافىء الجرع المؤثرة ومع هذا فان الضرر على مستوى مجموعة من الافراد او المجتمع هو واقع معقد لا يمكن تخفيضه الى جمع فقط للتلف المفرد. ومثاليا فاننا نستطيع ان نأخذ بنظر الاعتبار توزيع مكافىء الجرع الفردية. ان مكافىء الجرع المتجمعة يكون معاملا ضمن معاملات اخرى.

الملحق 1

الكميات والوحدات المستعملة في قياس الاشعاع



الملحق 1

الكميات والوحدات المستعملة في قياس الاشعاع

1.1 المعايير (Standards)

يرمز مصطلح المعيار الى امور متعددة مثل قابلية القياس (Measurement capacity) او علم القياس القضائي (Specification) والتعيير (Calibration) والفحص (Testing) والسيطرة النوعية (Quality control) اما في مجال الوقاية من الاشعاع فان كلمة معيار لها معنيان متميزان وهما

1.1.1 معيار المواصفات (Specifiation standard)

وهو مواصفات معتمدة بصورة واسعة او وصايا تقنية والوثائق المشابهة.

2.1.1 معيار القياسات (Measurement standard)

وهو مقياس مادة (Material measure) او جهاز او نظام قياس (Measuring instrument or system) الغرض منه تعريف او التمثيل فيزياوياً او الحفاظ او توليد وحدة قيمة معلومة او اكثر لكمية لغرض نقلها الى اجهزة قياس اخرى بواسطة المقارنة.

والجهة العالمية المسؤولة عن المعايير للاشعة المؤينة هي اللجنة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع

International Commission on Radiation Units and Measurements

ومختصرها ICRU حيث قامت هذه اللجنة بتعريف 38 كمية لها علاقة بقياس الاشعاع المؤين والنشاط الاشعاعي في سنة 1980 (ICRU 33)

ان هذه الكميات تشمل عددا من معدل الكميات (Rate quantities) مثل معدل التعرض (Exposure rate) كما ان تلك الكميات قسمت الى اربع مجاميع حيث تشمل المجموعة الاولى مقاييس الاشعاع (Radio.metry) التي تتعلق بالمجال (Field) نفسه وبدفق الطاقة (Energy fluence) والمجموعة الثانية هي معاملات (Interaction coefficients) التي تشمل الكميات المرتبطة بتفاعل الاشعاع مع المادة والمجموعة الثالثة هي مقاييس الجرع (Dosimetry) التي تتعامل مع كميات ناتجة بدورها من (الكميات في المجموعتين الاولى والثانية. مثل التعرض Exposure)) رغم انها لا تعرف بهذه الطريقة والسبب الاساس هو انها تقاس عادة بصورة مباشرة والمجموعة الرابعة هي النشاط الاشعاعي.

اما في الوقاية من الاشعاع فان هنالك كميات لمقاييس جرع مستعملة بصورة واسعة وقد صممت مقياسا فيزياوياً للربط مع التأثير الواقعي او المحتمل للتشعيع وبالاضافة الى ذلك فانها الكميات التي يجري قياسها لاغراض التعيير والتي لها معايير ابتدائية (Primary standards) تم تكوينها للوصول الى الوحدات. ان الاتفاق قد تم على استعمال اسماء خاصة لها ما عدا استثناء واحداً. وهذه الكميات هي التعرض (Exposure) والجرعة الممتصة (Absorbed dose) وكرما (Kerma) والفعالية (Activity) ومكافىء الجرعة (Dose equivalent) بالرغم من انه لا يمكن قياس الاخير بصورة مباشرة كما ان هذه الكميات ووحداتها ورموزها موضحة في الجدول 1.1

3.1.1 معايير الوقاية من الاشعاع

من الممكن تمييز عدة معايير في مجال الوقاية من الاشعاع وقياس الاشعاع والتعرض وهذه المعايير هي

المعيار الابتدائي (Primary standard)

وهو المعيار الذي له اعلى المواصفات لقياس الكميات المقيسة (Metro- logical quantities) في مجال محدد وينطبق مفهوم المعيار الابتدائي على الوحدات الاساسية وعلى الوحدات المشتقة. ومثل هذا المعيار يكون مطلق (Absolute) فيما اذا كانت القيم المعطاة قد جرى تثبيتها على هيئة وحدات اساسية ذات العلاقة دون الاستعانة بمعيار اخر لكمية مشابهة.

المعيار الثانوي (Secondary standard)

وهو المعيار الذي جرى تثبيت قيمته بالمقارنة مع معيار ابتدائي .

الجدول 1.1 كميات ووحدات الاشعاع المستعملة بصورة روتينية

الكمية والرمز	الوحدة SI	الإسم الخاص والرمز	الاسم القديم الخارجي والرمز	العلاقة
التعرض exposure (x)	CKg^{-1}	———	الرولكن rontgen (R)	$1R - 2.58\times10^{-4}\ Ckg^{-1}$
الجرعة الممتصة absorbed dose kerma DK	JKg^{-1}	غراي gray (Gy)	راد rad(rad)	1 rad – 0.01 Gy
الجرعة المكافئة dose equivalent (H)	JKg^{-1}	sievert (Sv)	ريم rem(rem)	1 rem – 0.01 Sv
الفعالية activity (A)	S^{-1}	becquerel (Bq)	curic (Ci)	$1\ Ci - 37\times10^{9} Bq$

المعيار الوطني (National standard)

وهو المعيار المعترف به نتيجة قرار رسمي اساسا لتثبيت قيم جميع المعايير الاخرى للكمية. ان المعيار الوطني في بلدما غالبا ما يكون معيارا ابتدائيا وفي حالة قياس التعرض فان كلفة تركيب واحد او اكثر من حجر التأين الخالية من الهواء (Free – air Ionization Chamber) تكون كبيرة وربما لا يكون هذا المعيار ضروريا وهنالك دول قليلة لا تتجاوز العشرين في سنة 1985 لها مختبرات معايير ابتدائية اما بقية دول العالم فانها تعتمد على مختبرات التعيير الثانوية (Secondary standard dosimetry Laboratories) ومختصرها SSDL

المعيار المصدري (Reference standard)

وهو معيار غالبا ما يكون له اعلى نوعية مقياسا متوفرا في موقع ما والتي يتم اشتقاق القياسات التي تجري في ذلك الموقع منها.

المعيار الناقل (Transfer standard)

وهو المعيار الذي يستعمل بوصفه متوسطا لمقارنة المعايير او المواد المقيسة او اجهزة القياس.

ان واجبات مختبرات التعيير الوطنية او الابتدائية يشمل ثلاث فعاليات

1 ـ توفير نظام وطني ثابت للقياسات في مجال معين.

2 ـ لتنسيق النظام مع انظمة البلدان الاخرى.

3 ـ لتوفير خدمات تعيير اساسية.

2.1 التعيير (Calibration)

وهي مجموعة من العمليات التي تثبت تحت ظروف محددة، العلاقة بين القيم المعطاة من قبل جهاز او نظام قياس او القيم الممثلة بواسطة مقياس المادة وبين القيمة المعلومة المطابقة لقيم القياسات.

من المهم معرفة الدقة المطلوبة في القياس.

هنالك عدة محددات لدقة قياس الاشعاع ومنها ان الاشعة المؤينة تشمل مجالا واسعا من الجسيمات ومن الاشعة الكهرومغناطيسية مثل اشعة الفا وبيتا وكاما بالاضافة الى شعاع الالكترونات والاشعة السينية والنيوترونات بالاضافة الى ان هذه الاشعاعات لها حقل واسع من الطاقات ولو اخذنا الاشعة السينية مثالا لها فان الطاقة تشمل 5Kev الى 50MeV الذي هو اربع مراتب فرق كما ان الشدة او معدل الجرعة الممتصة المهمة في مجال الوقايـة من الاشعاع لقياس الجرع تختلف بمجال واسع جدا يعادل اثنتي عشرة مرتبة عشرية بين الوقاية والتصنيع ويمثل المستوى العلاجي حداً متوسطاً.

وتتطلب مثل هذه المجالات المستفيضـة تقنيات مختلفـة للقياس مثـل التأين والمقياس الحـراري (السعري) والمقيـاس الكيمياوي ومقيـاس الحالـة الصلبة والمقاييس الاخرى.

وفي الحقيقة فانه لا يوجد جواب واحد لسؤال الدقة المطلوبة في القياس كما ان تعقد تفاعل الاشعاع مع المادة يؤدي بصورة عامة الى مراتب كثيرة اقل من تلك المتوفرة للوحدات الاساسية او المشتقة.

نشأت الحاجة الى تقدير التعرض الى الاشعاع بصورة كمية في بادىء الامر عند استعمال الاشعاع لغرض العلاج وفي ذلك الوقت بحث عن مقياس يمكن ان يعزى له تأثير طبي لغرض امكانية نقل الخبرة ولغرض التمكن من العلاج بصورة منتظمة كما ان الطريقة العملية الوحيدة في ذلك الوقت لقياس الاشعاع كانت درجة اللمعان التي تحدث على الشاشة الوهاجـة. ومقاييس الاشعاع الاولية التي استخدمت كانت غير عملية وذلك لانها اما ان تكون غير

حساسة او انه يصعب تكرارها او كليهما معا. ان الطريقة التي كانت شائعة لوصف التعرض كانت ايجاد الوقت اللازم للحصول على صور ليد الانسان وقد عملت ايدٍ صناعية لهذا الغرض.

لقد كان من الممكن استعمالَ الفيض الفوتوني (Photon flux) طريقة لتقدير التعرض بعد ان اقترحت الطبيعة الحزمية للاشعة الكهرومغناطيسية من قبل العالم Einstein في سنة 1905 واثبات العالم كومتن لذلك في سنة 1923 الا ان عدم وجود طريقة لقياس هذه الكمية كان قد منع اعتمادها.

ان دراسة التأين الناتج في الهواء بواسطة الاشعة السينية قد ادى الى اقتراح استعمال التأين في الهواء طريقة لتقدير ناتج انبوب الاشعة السينية كما ان هذا المقترح قد وجد تطبيقا عمليا في حجرة التأين المصممة في سنة 1913

لقد ادرك بعض العلماء بان تلف الانسجة الحية هو دالة الطاقة الممتصة من قبل النسيج وليس ناتجا عن انبوب الاشعة السينية الذي تعرضوا له.

3.1 وحدات التعرض الى الاشعاع (Exposure units)

ان اول وحدة للاشعاع قد اقترحت من قبل العالم Bchnkin في سنة 1924 وفي سنة 1928 تم اعتماد هذه الوحدة من قبل المؤتمر العالمي الثاني لعلم الاشعاع (Second International Congress of Radiology) وهذه الوحدة هي الرونكن (roentgen) التي عرفت بانها كمية من الاشعة السينية التي عند استعمال الالكترون الثانوي بصورة تامة مع تجنب تأثير جدار حجرة التأين تولد في سنتمتر مكعب واحد من الهواء الجوي وبدرجة حرارة صفر مئوي و 760 ملمتر من الضغط الزئبقي درجة من التوصيل بحيث ان 1 e.s.u من الشحنة يتم قياسها تحت تيار مشبع.

والتوصية في ذلك الحين قد اقتصرت على الاشعة السيتنية فقط وبالرغم من ان الهيئة العالمية للوحدات والقياسات

(International Commission on Radiation Units and Measurements)

وبختصرها ICRU قد اوصت في سنة 1937 شمول اشعة كاما بهذا التعريف فأن الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع

(International Commission on Radiation Protection)

ورمزها ICRP لم تقم بالتوصية بذلك.

كما ان تفسير تعريف الرونكن يعتمد على معنى كمية الاشعة السينية في ذلك الوقت حيث اعتبر الذين يرغبون قياس الاشعاع انها تعني الاشعاع المار خلال حجرة التأين. اما اولئك الذين يهتمون بالطاقة الممتصة فانهم يعتبروه الاشعاع الممتص في حجرة التأين. لقد وجهت انتقادات متعددة للتعريف بالاضافة الى نشوء الحاجة الى اخذ انواع الاشعاع المؤين الاخرى بنظر الاعتبار مثل النيوترونات وجسيمات الفا وجسيمات بيتا.

لقد اقترحت وحدات متعددة اخرى مثل الريب (rep) التي هي مختصر مكافىء رونكن الفيزياوي (Roentgen equivalent physical) في سنة 1948

ونتيجة التوسيع في استعمال الاشعاع ونشوء مصادر صناعية كثيرة له مثل المفاعلات النووية ومعجلات الجسيمات، فقد وجدت الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع في سنة 1950 انه لابد من اخذ النيوترونات والبروتونات وكذلك الجسيمات الثقيلة المشحونة بنظر الاعتبار. ان هذه الانواع من الاشعاعات لم يكن ممكنا التعبير عنها بالرونكن الذي يستعمل عادة للفوتونات ولكن مع هذا فقد كان ممكنا حساب الطاقة الممتصة لوحدة كتلة النسيج الطري عند تعريضها الى رونكن واحد من الاشعة السينية او اشعة كاما وان هذه الطاقة لوحدة الكتلة كانت قريبة لما يعرف الان بالراد (rad) الذي استعمل للنيوترونات والبروتونات والجسيمات الثقيلة المشحونة. لقد عرف في حينه ان هذه الجسيمات تترك طاقة ذات كثافة اكثر كثيرا على مساراتها من تلك المتروكة من قبل الالكترونات ونتيجة لذلك فانها تولد تأثيراً بايولوجيا يختلف لطاقة ما معطاة لوحدة الكتلة.

ان الغموض المتعلق بالكمية المقاسة قد جرى حله في اجتماع الهيئة الدولية للاوزان والمقاييس في عام 1956 وقد ظهرت نتيجة ذلك تعريف كمية هي جرعة التعرض (Exposure dose) ان جرعة التعرض لاشعة كاما والاشعة السينية في محل معين هي مقياس الاشعاع الذي تستند الى قابليته لتوليد تأين وقد تبع ذلك بأن الرونكن الواحد هو جرعة تعرض للاشعة السينية واشعاع كاما.

لقد تم في سنة 1962 من قبل الهيئة العالمية لوحدات الاشعاع والقياسات اسقاط كلمة جرعة من جرعة التعرض لغرض ازالة التوهم بكمية الجرعة الممتصة التي كانت سائدة في ذلك الوقت بالاضافة الى استعمال الرمز الكبير للحرف وهو R بدل r

لقد جرى تحوير تعريف التعرض من قبل الهيئة العالمية لوحدات الاشعاع والقياسات في سنة 1968 بحيث اصبح التعريف الجديد يمثل الكسر $\frac{\Delta Q}{\Delta m}$ حيث تكون ΔQ هي مجموع الشحنات الكهربائية على جميع الايونات لاشارة واحدة الناتجة في الهواء عندما تكون جميع الالكترونات (Negatron, positrons) المحررة بواسطة الفوتونات في حجم عنصر الهواء الذي تكون كتلته M يتم ايقافها كليا في الهواء

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \quad ---(1:1)$$

واكثر من ذلك ان الرونكن (R) ـ و $R = 2.58 \times 10^{-4}\, C\,kg$ والرقم 2.58 الذي يبدو اعتباطيا قد تولد من التغييرات خلال السنوات من

1 ـ من الحجم الى كتلة الهواء

2 ـ من الشحنة بـ esu الى وحدة الشحنة بنظام SI وفي سنة 1971 غيرت Δn و ΔQ الى تفاضل حقيقي dQ و dm بحيث انه يمكن القول بان التعرض يحدث في نقطة وان يكون له تدرج فراغي (Spatial gradient) كما ان اخر تعريف للتعرض تم في سنة 1980 من قبل الهيئة

العالمية لوحدات الاشعاع والقياسات ينص على ان التعرض x هو الكسر $\frac{dQ}{dm}$ حيث تكون قيمة dQ قيمة مطلقة لمجموع شحنة الايو نـات لاشارة واحدة الناتجة في الهواء عندما تكون جميع الالكترونـات (Negatron Positrors) المتحررة بواسطة الفوتون في الهواء الذي كتلته dm يتم ايقافها كليا في الهواء

$$X = \frac{dQ}{dm} \qquad .... (1.2)$$

كما ان الوحدة الان هي Ckg^{-1} بموجدات الـ SI

وتستعمل الوحدة الخاصة للتعرض الرونكن (R) بصورة مؤقتة الان وان العلاقة بينهما

$$IR = 2.58\times10' \, Ckg^{1} \qquad .... (1.3)$$

تتطلب كل هذه التعاريف ان المادة الوحيدة التي تدخـل سلسلة-من التفاعلات هي الهواء تقوم الفوتونات اولا بالتفاعل مع كتلة محددة من الهواء ونتيجة لهذا التفاعل فانها تولد الكترونات بواسطة التأثير الكهروضوئي او تأثير كومبتن والالكترونات والبوزترونات بواسطة فعالية انتاج الزوج.

ان جميع هذه الجسيمات الثانوية المشحونة تسير خلال الهواء لغاية تسرب طاقتها وان الايونات ذات الاشارة الواحدة الناتجة يجب ان تقاس.

كما ان الالكترونات الثانوية سوف لا تفقد جميع طاقتها بواسطة فعاليات الارتطام ولكن سوف تفقد كمية قليلة بواسطة الفقـدان الاشعاعي (انتـاج اشعاع الايقاف) وينتج اي تأين بفعل اعادة الامتصاص لاشعاع الايقـاف الذي يجب ان لا يكون مشمولا بالتأين الوارد في التعاريف. وهذا يعني ان معاملات تفاعل الفوتون المتعلقة بتعريف التعرض يجب ان تبعد اي مكونات لاشعاع الايقاف ولهذا فهي معامل امتصاص الطاقة الكتلي $\mu en/P$ وتكون طاقة الجسيمات المشحونة المتحررة لوحدة كتلة الهواء التي يتم امتصاصها بعد ذلك في الهواء $\Psi(\mu en/P)air$ حيث تكـون Ψ دفق الطاقـة. واذا كانت الطاقة اللازمة لانتاج زوج ايوني في الهواء تساوي Wair فأن عدد ازواج

الايونات لوحدة الكتلة يكون $\frac{\Psi (\frac{\mu_{en}}{\rho})_{air}}{W_{air}}$ والشحنة Q الناتجة لــوحـدة الكتلة سـوف تكـون $\frac{\Psi (\frac{\mu_{en}}{\rho})_{aire}}{W_{air}}$ حيث تكـون e الشحنة الالكترونية ولكن التعرض x يساوي dQ/dm ولهذا فان الشحنة لوحدة الكتلة حسب التعبير اعلاه تساوي

$$X = \Psi (\frac{\mu_{en}}{\rho})_{air} \frac{e}{W_{air}} \quad ...... (1.4)$$

1.3.1 الجرعة الممتصة (Absorbed dose)

اقترح استعمال المصطلح الجرعة (Dose) في سنة 1913 من قبل العالم Christen الذي عرفها بانها الطاقة الاشعاعية الممتصة في وحدة الحجم لقد ادرك ان القياسات يجب اجراؤها لعدد الايونات الناتجة في حجم معين من الهواء الجاف تحت الظروف القياسية من حرارة وضغط بالرغم من انه كان من الافضل حساب الطاقة اللازمة لتحرير هذا العدد من الايـونات بحيث ان وحدة الجرعة يتم التعبير عنها بالارغ لكل سنتمتر مكعب. وبعـد اكتشاف النيوترونات وجدت صعوبة لقياسها حيث ان هذه الجسيمات لا يمكن قياسها على هيئة الكمية تعرض التي استعملت في ذلك الحين لقياس الاشعة السينية واشعة كاما.

في سنة 1939 قام العالمان Gray و Read باقتراح المصطلح وحدة الطاقة (Energy unit) لهذا الغرض. وهذه الوحدة قد عبر عنها بـالطاقـة لوحدة الحجم وانه قد جرى حسابها نسبة الى الطاقة الممتصة لوحدة الحجم للماء المعرض الى رونكن واحد من اشعة كاما. لقد قاموا بقياس ذلك على شكل تاين الغازات لانه كانت هنالك صعوبات عملية للقياسات المبـاشرة للاشعة المؤينة بواسطة التأثير الحراري الذي يولدها.

لقد تصدت الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع في سنة 1951 لهذه المشكلة واوصت بانه لغرض عطفَ الجرعة لاي اشعاع مؤين الى تأثيرها البايولوجيُ او المتعلق به فانه يجب التعبير عن الجرعة على شكل كمية الطاقة الممتصة لوحدة الكتلة (ارغ لكل غرام) للمادة المشععة في النقطة المطلوبة. لقد اعطي الاسم الجرعة الممتصة (Absorbed dóse) في سنة 1954 من قبل الهيئة العالمية لوحدات وقياساتالاشعاع حيث نصت على ان الراد, (rad) هو وحدة الجرعة الممتصة وهي تساوي 100 ارغ لكل غرام وفي سنة 1957 نصت هذه الهيئة بان الجرعة الممتصة لاي اشعاع مؤين هي الطاقة الداخلة الى المادة بواسطة الجسيمة المؤينة لوحدة كتلة المادة المشععة في نقطة معلومة. ولقد نص تقرير للهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع.

بان الجرعة الممتصة ورمزها D هي الكسر $\frac{\Delta E_D}{\Delta m}$ حيث تكـون Δ ED هي الطاقة الـداخلة بواسـطة الاشعة المؤينـة الى المادة في حجم من العنصر و ΔM هي كتلة المادة في ذلك الحجم من العنصر. ان الـ s قد ادخلت لتوضيح ان Δm كانت صغيرة بما فيه الكفاية لتعريف نقطة القياس ولكن كبيرة بما فيه الكفاية لـ ΔED لكي تكون مكونة من وحدات ادخال طاقة بحيث انه يحصل على قيمة متوسطة جيدة ولهذا فـان الجرعـة الممتصة كانت كمية كبيرة يحتاج ايجاد متوسطها في الحجم. وفي سنـة 1971 قامت الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع بتغيـير الجرعـة الممتصة الى كميـة تعرف في نقطة بانها الكسر التفاضـلي $d\bar{E}/dm$ حيث $d\bar{E}$ هي متوسط الطاقة الداخلة وفي سنة 1980 قـامت الهيئة العـالمية لـوحدات وقيـاسات الاشعاع بتعريف الجرعة الممتصة D بانها

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm}$$ ـــ ي⁻/يژ

حيث تكون $d\bar{E}$ متوسط الطاقة الداخلة بواسطة الاشعاع المؤين الى مادة كتلتها dm

كما ان الطاقة الداخلة E بواسطة الاشعاع الى المادة في حجم هي

$$E = \sum R_{in} - \sum R_{out} + \sum Q \text{ .... (1.5)}$$

حيث انه E Rin هي طاقـة الاشعاع الساقطة عـلى الحجم وهي تساوي مجموع كل الجسيمات المؤينة المشحونة وغير المشحونة (ما عدا طاقات الراحة) التي تدخل الحجم و Σ Rout هي طـاقة الاشعـاع الخارجـة من الحجم اي انها تساوي مجموع كل الجسيمات المشحونة وغير المشحونـة التي تغادر الحجم Σ Q هي مجموع كل التغييرات (الانخفاض ـ الاشارة السالبة والزيادة ـ الاشارة الموجبة) لطاقة الكتلة المستقرة للنوى والجسيمات الاولية التي تحدث في الحجم. وفي معظم الحالات فان E تعطى بالفرق بين مجاميع الطاقات لهذه الجسيمات الداخلة وتلك المغادرة لهذا الجحجم. ولكن اذا كان الحجم يحتوي على مصدر مشع فانه يقوم ببعث جسيمة من الحجم. ان طاقة هذه الجسيمة سوف تزيد Rout Σ وتؤدي الى الحط من قيمة E المقدرة لولا وجود Σ Q. ونفس الاعتبارات تنطبق فيما اذا دخلت الجسيمات الاتية نـواة وتغير كتلة الاستقرار.

وحدات الجرعة الممتصة

ان الوحدة الخاصة بـالجرعـة الممتصة هي الـراد (rad) وهي تحت الاستعمال (الان بصورة موقتة) منذ اكثر من ربع قرن من الزمن ولقد عبر عنها في الماضي بالارغ انها تساوي (100 erg) لكل غرام.

ولكن مـع شيوع استعـمال وحـدات الـ SI فـانها بمصـطلح هـذه الوحدات تكون $1x10^{-2}$ J/Kg ان الراد قد استعمل في بادىء الامر مع كمية الجرعة الممتصة فقط ولكن في سنة 1971 قـامت الهيئة العـالمية لـوحدات وقياسات الاشعاع بتمديد استعمالها الى كميات الاشعاع الاخرى التي لها نفس الابعاد مثل الطاقة الخاصة (الداخلة) و Z والكرما و K ودليل الجـرعة الممتصة D.

وبتوسع استعمال وحدات الـ SI . اقترح استعمال اسم خاص لهذه الوحدة وقد اقر مثل هذا الاسم في سنة 1975 حيث اوصى باستعمال الغراي (Gray) ورمزها Gy لوحدة J/Kg عند استعمالها مع الاشعاع المؤين. ان الغراي تستعمل الان للجرع الممتصة والطاقة الخاصة وكرما ودليل الجرع الممتصة والتوصية ان يتم استعمال الوحدة القديمة راد والوحدة الجديدة غراي سوية لغاية سنة 1985 ولم يتوقف استعمال الراد كوحدة لقياس الاشعة الممتصة لغاية سنة 1988 في معظم بلدان العالم. ان معظم النتائج التي اعطيت بعد حادثة المحطة الكهرونووية في تشرنوبيل/ الاتحاد السوفيتي خلال عام 1986 كانت بالوحدات القديمة.

وبما ان الوحدة غراي تستعمل لاربع كميات فانه من الضروري ذكر اي كمية نعني عند ذكر عدد الغراي مالم يكن هذا واضحا من بقية الكلام واكثر من ذلك ان الجرعة الممتصة والكرما والطاقة الخاصة يمكن ان تطبق على اي مادة فان الجرعة الممتصة تكون غير كاملة ما لم يتم التطرق الى المادة المعنية.

2.3.1 مفهوم الكرما (Concept of Kerma)

في سنة 1962 عرفت الكمية كرما من قبل الهيئة العالمية لوحدات ومقاييس الاشعاع (ICRU) وهذا الاسم مشتق من مختصر الطاقة الحركية المتحررة لوحدة الكتلة

Kinetic energy released per unit mass

(Kerma) وقد اضيف حرف a بالدرجة الأساس لتمييزها عن الكلمة الالمانية Kern وهذه الكمية قد ادخلت للدلالة على الفعالية ذات المرحلتين التي تحدث عندما تدخل الجسيمات المؤينة بصورة غير مباشرة كالنيوترونات والفوتونات طاقة الى المادة. انها تساوي حسب اول تعريف لها الكسر $\Delta E_k/\Delta m$ حيث ان ΔE_k يمثل مجموع الطاقات الحركية الاولية لجميع الجسيمات

المشحونة المتحررة بواسطة الجسيمات المؤينة بصورة غير مباشرة في حجم من العنصر من مادة خاصة و Δm يمثل كتلة المادة في حجم العنصر. في سنة 1971 قامت هيئة الـ ICRU بتحوير التعريف الى

$$K = dEtr / dm \quad ----(1.6)$$

اما في الوقت الراهن ومنذ سنة 1980 فان الكـرما تعـرف بالكسر dEtr / dm حيث تساوي dEtr/dm مجمـوع الطاقـات الحركيـة الاولية لجميـع الجسيمات المؤينة المشحونة المتحررة بواسطة الجسيمات. غير المشحونة في مادة ذات كتلة Δm ان وحدة الكرما هي JKg^{-1} واسمها في نـظام SI هو الغراي (gray) اما الاسم القديم لها فهو الراد الذي يساوي $1x10^{-2}$ J/Kg

كرما ودفق الطاقة (Kerma and energy fluence)

ان الكرما K لها علاقة بدفق الطاقة Ψ بواسطة معامل انتقال الطاقة الكتلي μ_{tr}/P

$$K = \Psi \, M_{tr} / P \quad ---(1.7)$$

وبما ان dEtr هي مجموع الطاقات الحـركية الابتـدائية للجسيـمات المشحونة المتحررة بواسطة الجسيمات المؤينة غير المشحونة فانها تشمل طاقة تلك الجسيمات المشحونة التي تشع بعد ذلك بصفة اشعاع ايقاف.

2.3.1 دفق الطاقة (Energy fluence)

عرف دفق الطاقة من قبل الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع في عام 1980 بالمعادلة

$$\Psi = dR / da \quad -----(1.8)$$

حيث تمثل dR طاقة الاشعاع التي تدخل الى كرة ذات مقطع عرضي da ان وحدة دفق الطاقة بنظام SI هي Jm^{-2} . ان R تمثل الطاقة ناقصا طاقة الاستقرار للجسيمة المعنية. ان تعريف المجال الاشعاعي يكون اكثر تماما فيما اذا اعطى توزيع دفق الطاقة في الاتجاه والطاقة. ان المعرفة الكافية بالتوزيع والاتجاه عادة تتبع معرفة موقع المصدر الاولي للاشعاع.

3.3.1 مقاييس الجرع في الوقاية من الاشعاع

. ان اكتشاف الاشعة السينية في سنة 1895 من قبل العالم Roentgen قد ادى بعد فترة قصيرة من اكتشافها الى استعمالها للاغراض الطبية، في التشخيص والعلاج، وبالرغم من الفوائد الطبية الكبيرة التي حققها هذا الاكتشاف الا انه قد حدثت بعض الضحايا نتيجة الاستعمال الخاطىء للاشعاع. لقد تم تسجيل تأثيرات بايولوجية غير مرغوب بها في اليابان في سنة 1896 ولقد اتخذت بعد ذلك الوقت بعض الخطوات لتقليل خطر التعرض الى الاشعاع.

كما ان اول خطوة منتظمة في مجال الوقاية من الاشعاع قد اتخذت من قبل مجتمع رونكن البريطاني (British Roentgen Society) في سنة 1915 ولكن في ذلك الوقت كان التقدم بطيئا ولم تظهر الضوابط الخاصة بالكميات القصوى من الاشعاع التي يمكن التعرض لها مع ضمان سلامة المتعرضين بالاضافة الى عدم وجود وصف كمي مقبول علميا ووحدة يمكن ان يوصف بها الاشعاع.

جرت بعدئذ محاولات لوضع مقاييس للتعرض ففي العشرينات من هذا القرن استعملت ظاهرة احمرار الجلد عند التعرض للاشعاع مقياسا للجرع المقبولة حيث حددت الجرعة المسموح بها في السنة بـ 1/10 جرعة الجلد الحرج للاحمرار (Threshold erythma dose) الذي يقابل 6 رونكن (R) في الشهر بمفاهيمنا الحالية.

لقد انشئت في سنة 1928 الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع
(International Commission on Radiological Protection) ومختصرها ICRP خلال
المؤتمر الثاني العالمي لعلم الاشعاع
(Second International Congress of Radiology)
المنعقد في نفس السنة. لقد تم تعريف وحدة قياس الاشعاع الرونكن (R)
من قبل الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع
(International Commission on Radiological Units and Measurements)
في سنة 1928 كذلك. ومن اولى توصيات الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع
التي صدرت تحديد التعرض الى الاشعاع وكانت في سنة 1954 حيث
حددت الجرعة المسموح بالتعرض لها بـ 0.2 رونكن في اليوم.

ومنذ ذلك الوقت وخلال سنوات الحرب فان كثيرا من المعلومات
الخاصة بالتأثير البايولوجي للاشعاع قد تراكمت مما حدا الهيئة العالمية للوقاية
من الاشعاع الى تولية اهتمامها الى النيوترونات والبروتونات كذلك الجسيمات
المشحونة الثقيلة الاخرى التي سادت بفعل اختراع مصادر اشعاع اخرى
اعطت مثل هذه الانواع من الاشعاعات التي لم يكن ممكنا التعبير عنها
بالرونكن الذي يستعمل عادة للفوتونات. لقد جرى حساب الطاقة الممتصة
لوحدة كتلة النسيج الطري عند تعرضها الى رونكن واحد من الاشعة السينية
او اشعة كاما. ان هذه الطاقة لوحدة الكتلة كانت قريبة مما يعرف الان
بالراد (rad) الذي استعمل للنيوترونات والبروتونات والجسيمات الثقيلة
المشحونة في سنة 1950

لقد عرف في حينه ان هذه الجسيمات تترك طاقة ذات كثافة اكبر كثيرا
على طريق مساراتها من الالكترونات ونتيجة لذلك فانها تولد تأثيراً بايولوجيا
يختلف لطاقة ما معطاة لوحدة الكتلة.

وقد دعيت هذه بالفعالية البايولوجية النسبية (Relative Biological
Effectiveness) ومختصرها RBE

ان قيماً لهذه الفعالية البايولوجية النسبية للاشعة المؤينة بكثافة مضروبة بالطاقة لوحدة الكتلة تعطي كمية تدعى جرعة الفعالية البايولوجية النسبية (RBE dose) التي عبر عنها بوحدات الريم التي عنت في تلك الايام الرونكن مكافىء الرجل (Roentgen equivalent man) وقد تلا ذلك بفترة قصيرة تسمية وحدة جديدة في سنة 1953 من قبل الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الجرع وهي الراد (rad) حيث اوصي باستعمالها كوحدة للطاقة الممتصة او الجرعة الممتصة. ان الرونكن قد عبر عنه في حينه بحرف r صغير وبدون كسرة قد اعتبر وحدة جرعة الاشعة السينية واشعة كاما. وخلال انعقاد مؤتمر مجلس علم الاشعاع العالمي في سنة 1956 فان المصطلح جرعة التعرض قد اقترحت المفهوم الاخير وقد جرى تقصيرها في سنة 1962 حسب توصية الهيئه العالمية لوحدات ومقاييس الاشعاع الى تعرض (Exposure) فقط.

ومنذ بدء سنة 1954 بالنسبة للوقاية من الاشعاع زادت الحاجة الى الاخذ بنظر الاعتبار الحقيقة انه لنفس الكمية من الطاقة الممتصة فان الانواع المختلفة من الاشعاع تنتج درجات متفاوتة من الاستجابة البايولوجية وهذا ما حدا الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع للتوصية باستعمال وحدة الريم (rem) التي تعرف بانها الجرعة الممتصة لاي اشعاع مؤين التي لها نفس الفعالية البايولوجية لراد واحد من الاشعة السينية والتي لها متوسط تأين خاص (Average specified ionization) يساوي 100 زوج ايوني لكل مايكرون من الماء على هيئة مكافئها الهوائي في نفس المنطقة. ان تلك الكمية معنية بالدرجة الاساس بالجرع العالية وسرعة اعطاء الجرع العالية وخاصة لاحياء اخرى غير الانسان.

لقد ادرك نتيجة البحوث التي جرت من قبل العالمين Lea و Zirkle للفترة 1940 لغاية 1954 بان هنالك علاقة بين الفعالية البايولوجية النسبية لانواع الاشعاع المختلفة وانتاج التأثير البايولوجي والطاقة المتفرغة لوحدة المساحة وهو ما يدعى انتقال الطاقة الخطي على طريق الجسيمات المؤينة اذ لم

يكن مع التاين الخاص غير المؤكد (Uncertain specific ionization) ، ان توصيات الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع قد حوت قيما مختلفة للتأين الخاص او المكافىء لقيم انتقال الطاقة الخطي . وقد اوضحت ان الجرع المقيسة بالريم تكون مساوية للجرع المقيسة بالراد مضروبة بالفعالية البايولوجية النسبية الملائمة .

يستعمل مصطلح الفعالية البايولوجية النسبية بصورة مغايرة في علم الاحياء الاشعاعي (Radiobiology) حيث استعمل للدلالة على ان النسبة بين الجرعة الممتصة اللازمة لانتاج درجات متساوية للتأثير البايولوجي الفعلي ولم تعتمد على انتقال الطاقة الخطي بنفس الطريقة التي جاءت بتوصيات الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع عام 1954 وبالاضافة الى ذلك فانها لم تكن معتمدة على طبيعة الكائن الحي وعلى التأثيرات الحرارية وضغط الاوكسجين المدروسة في النموذج البايولوجي او ظروف تنميتها وادائها ولهذا فان وجهات النظر بقيت خلال تقرير الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع في سنة 1959 والى توصياتهم المنشورة في عام 1962 والتي عوضت عن ذلك بمصطلح معامل النوعية (Quality factor) ويرمز له Q من الفعالية البايولوجية النسبية في مجال الوقاية من الاشعاع . ان معامل النوعية قد وضع على انتقال الطاقة الخطي نفسه وهو عرضة لتفسيرات متعددة ولكن في هذا التطبيق فانها مشابهة الى قوة الايقاف (Stopping power) في الماء للجسيمات المائية الساقطة او المحررة في النسيج .

لقد ادخل مصطلح مكافىء الجرعة (Dose equivalent) للكمية المقيسة بالريم نتيجة اتفاق الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع والهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع التي هي ناتج الجرعة الممتصة ومعامل النوعية واية معاملات ضرورية اخرى .

لقد اوصت الهيئة العالمية لوحدات وقياسات الاشعاع في سنة 1974 باستعمال وحدات SI ولقد كان المؤتمر العام للاوزان والمقاييس (General Conference on Weights and Measures) خلال اجتماعه الخامس

عشر في سنة 1975 قد وافق على اعتماد وحدات SI وهي الغراي (Gray) للجرعة الممتصة وبكريل (Becquerel) للفعالية. كما ان السيفريت (Sievert) ورمزه (SV) قد جرى اعتماده من قبل الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع في سنة 1977

4.3.1 الكميات والوحدات المستعملة في الوقاية من الاشعاع حاليا

تعتمد الكميات والوحدات المستعملة في الوقاية من الاشعاع في الوقت الراهن بالدرجة الاساس على توصيات الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP)

ومن الممكن تقيسم كميات قياس الجرع الى الكميات المعنية بالافراد والكميات المعنية بالسكان. ان الكميات المتعلقة بالافراد تعبر بصورة كمية عن تعرض الافراد الى الاشعاع والكميات المعنية بالسكان معنية بالتعبير من الجرع الاشعاعية للسكان الناتجة من التعرض الى مصادر محددة للتعرض.

مكافىء الجرعة (Dose equivalent)

هناك حاجة لاستعمال كمية في الوقاية من الاشعاع لوصف العلاقة بين التعرض الى الاشعاع والتأثيرات البايولوجية ان هذه الكمية دعيت مكافىء الجرعة (Dose equivalent) ورمزها H وتستعمل هذه الكمية في حقل الوقاية من الاشعاع في الظروف الاعتيادية وهي معرفة بالمعادلة

$$H = QND \quad .... (1.9)$$

حيث ترمز Q الى معامل النوعية و N الى ناتج مجموع العوامل المحورة الاخرى التي تستعمل القيمة (1) لها في الوقت الحاضر. وبما ان كلا N و Q بدون وحدات لذلك انه بنظام SI تكون الجرعة الممتصة مشابهة لمكافىء الجرعة أي JKg^{-1} ولغرض تجنب الخلط بينهما فان مكافىء الجرعة قد اعطي الاسم سيفريت (Sievert) ورمزه (SV)

كما ان معامل النوعية يسمح الاخذ بنظر الاعتبار التأثيرات المختلفة لانواع مختلفة من الاشعاع وهو يمثل حكما نوعيا الى درجة كبيرة حول القيم المختلفة للفعالية البايولوجية النسبية لنوع معين من الاشعاع لمترتبات بايولوجية متعددة. لقد فرض انها تعتمد على الطاقة الداخلة لمتوسط طول المسار في النسيج الذي يهمنا وان تكون مستقلة عن نوع التأثير النهائي.

والقيمة Q بهذا قد عرفت بدقة بواسطة الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع (ICRP) بانها تعتمد على قوة الايقاف الارتطامي (Collision stop-ping power) ورمزها L∞ في الماء في النقطة المثيرة للاهتمام. ان بعض قيم L∞ معطاة في الجدول 2.1 ومن الممكن الحصول على القيم الاخرى بواسطة تمديد المقياس.

واذا ما سببت جسيمة جرعة ممتصة لها مدى بعض قيم L∞ فان قيمة مؤثرة $\bar{Q}$ يمكن ان تحسب في النقطة المثيرة للاهتمام وعندما لا تعرف مساهمة L فان من المسموح به استعمال قيم تقريبية لـ $\bar{Q}$ ان الـ ICRP قد اوصت بقيم تقريبية لجميع انواع الاشعاعات المؤينة الشائعة التي تعطى في الجدول 3.1

الجدول 2.1 العلاقة المحددة بين Q و L

L∞ في الماء (KeV μm⁻¹)	Q
3.5	1
7	2
23	5
53	10
≥175	20

المصدر ICRP 26 (1977) 52

الجدول 3.1 التقريب المسموح به لقيم Q لانواع مختلفة من الاشعاع

نوع الاشعاع	القيمة التقريبية لـ Q
الاشعة السينية واشعة كاما والالكترونات	1
النيوترونات الحرارية	2.3
النيوترونات والبروتونات والجسيمات المفردة المشحونة التي لها كتلة استقرار اكثر من 1 amu ذات الطاقة غير المعروفة	10
جسميات الفا والجسيات ذات الشحنات المتعددة (والجسيات المجهولة الشحنة) غير المعروفة الطاقة	20

المصدر R. J. Pentreath (1980) 110

كما ان معاملات النوعية قد اختيرت لكي تمثل فعالية الانواع المختلفة من الاشعة المؤينة لكي تسبب التأثيرات الضارة في الجرع الواطئة. ولهذا فان من الضروري تجنب استعمال مكافىء الجرع لتقدير كل المترتبات المحتملة للتعرض اثناء الحوادث للانسان التي ربما تشمل تأثيرات غير احتمالية شديدة.

لهذا السبب فان الجرع الممتصة تكون هي الكميات المناسبة بعد الوزن للفعالية البايولوجية النسبية (Relative biological effectiveness) ورمزها RBE لكل نوع من انواع الاشعاع للتأثيرات في مجال الجرع العالية.

والعلاقة بين Q و RBE غالبا ما يساء فهمها. وتعرف RBE بانها النسبة للجرع الممتصة لاشعاع مصدري الى الجرع الممتصة للاشعاع الذي يكون تحت الاختبار لاحداث نفس المستوى من التأثير البايولوجي لنفس المقدار او الطبيعة مع ثبات الظروف الاخرى. ان الفعالية البايولوجية النسبية يمكن ان تستعمل للحصول على الاستجابة البايولوجية لتأثير معين الحاصل من جرعة ممتصة معينة في مجال الجرع المحدد.

ربما ان Q قد عرفت دون الاستناد الى اي تأثير بايولوجي فهي لا تماثل اي قيمة معينة (RBE).

مكافىء الجرع المؤثرة (Effective dose equivalent)

ان احتمالية حدوث تأثيرا احتمالي في عضو او نسيج يفترض انه يتناسب مع مكافىء الجرعة في النسيج او العضو لاغراض الوقاية من الاشعاع. ان ثابت التناسب يختلف بالنسبة لاعضاء وانسجة الجسم المختلفة ولكن بتقييم الضرر الصحي فان الخطورة الكلية يحتاج لها عادة واذا كان التشعيع منتظما خلال جميع الانسجة للجسم فانه يمكن استعمال معامل خطورة كلي مفرد وان، التخمينات والمقارنة يمكن ان تجرى على اساس مكافىء الجرعة فقط في كل الجسم. اما اذا كان تشعيع الانسجة المختلفة غير منتظم وكما هي الحالة بالنسبة للتشعيع من معظم النويدات المشعة المترسبة داخليا في الجسم فعندئذ تدعو الضرورة لاستعمال كمية اخرى للدلالة على الخطورة الكلية.

كما ان الكميات الموصى بها تعكس خطورة احتماليات الوفاة المرتبطة بالتشعيع للاعضاء المختلفة بالاضافة الى النسب للتأثيرات الوراثية. ان هذه الكمية تعرف بالمعادلة

$$\sum_{i} W_T H_T$$

حيث ان W_T هو معامل الوزن المحدد من قبل الـ ICRP الذي يمثل الخطورة الاحتمالية الناتجة عن تشعيع النسيج T الى الخطورة الكلية عندما يتم تشعيع الجسم باجمعه بصورة منتظمة وان Ht هو متوسط مكافىء الجرعة في النسيج T ان رمز هذه الكمية هو HE والقيم الموصى بها معطاة في الجدول 4.1 انها تعتبر مناسبة لوقاية الافراد لجميع الاعمار ولكلا الجنسين للعاملين ولعامة الناس وتتضمن القيم للاعضاء التناسلية مع اخذ التأثيرات الوراثية الشديدة بنظر الاعتبار التي تحدث في الجيلين المقبلين ومن الناحية العملية فان بقية الاعضاء او الانسجة لا تشمل تلك المعطاة في الجدول والتي تتسلم اعلى جرع مكافئة وان معامل الوزن لكل منها هو 0.06

الجدول 4.1 معاملات الوزن لغرض حساب مكافىء الجرع المؤثرة

النسيج او العضو	معامل الوزن
الغدد التناسلية	0.25
الثدي	0.15
نخاع العظام الاحمر	0.12
الرئة	0.12
الغدة الدرقية	0.03
سطوح العظام	0.03
البقية	0.30
عموم الجسم	1.0

المصدر (G. Berger et. al. (1981) 8

وبضمنها الاجزاء المختلفة للقناة الهضمية التي تعامل بوصفها اعضاء منفردة. ان هذا الاسلوب يعطي نفس معامل الخطورة الى جميع الاعضاء والانسجة غير الواردة في الجدول 4.1 وهذا التبسيط يؤثر فقط على طريقة الحساب لمكافىء الجرع المؤثرة. ان التعريف يغطي كل الانسجة.

ان الهيئة الدولية للوقاية من الاشعاع (ICRP) لا تعتبر الايدي والسواعد والاقدام والكواحل والجلد وعدسات العين داخلة ضمن البقية ولهذا فان هذه الانسجة يجب ان لا تدخل في حساب مكافىء الجرع المؤثرةوهذا الحذف ينطبق على تقدير مكافىء الجرع المؤثرة في مجال وقاية الافراد.

يعتبر مكافىء الجرع المؤثرة كمية لقياس الجرع وهو كاشف لخطورة الموت من التأثيرات الجسمية والخطورة من التأثيرات الوراثية في الجيلين الاولين (الابناء والاحفاد) التي يفترض انها تنتج من اي تشعيع سواء اكان

منتظماً ام غير منتظم من المصادر الخارجية والمصادر الداخلية. انه لا يشمل الخطورة الوراثية للاجيال التي تلي ذلك ولا اية اعتبارات للتأثيرات الجسمية غير المميتة مثل معظم حالات سرطان الغدة الدرقية وسرطان الجلد.

مكافىء الجرع المخصصة (Committed dose equivalent)

ان الجرعة الممتصة من التشعيع الخارجي تعطي بنفس الوقت الذي يتعرض فيه النسيج الى المجال الاشعاعي. ولكن بالنسبة للتشعيع الداخلي من النويدات المشعة الداخلة في مركبات الجسم فأن الجرعة الممتصة الكلية سوف تنتشر على زمن حيث تعطى بصورة تدريجية وذلك بانحلال النويدات المشعة.

كما ان التوزيع الزمني لمعدل الجرعة الممتصة سوف يختلف حسب النويدة المشعة وهيئتها وطريقة دخولها والنسيج الذي دخلت فيه. ولغرض اخذ التوزيع الزمني هذا بنظر الاعتبار فان الـ ICRP قد عرف مكافىء الجرع المخصصة التي هي التكامل الزمني لمعدلات مكافىء الجرع في نسيج معين التي سوف تستلم من قبل الفرد بعد التناول للمواد المشعة داخل الجسم. ان الزمن قد حدد على انه 50 عاما الذي يمثل الحياة العملية (Working life Time) والتعريف الرسمي لمكافىء الجرع المخصصة هو

$$H_{50} = \int_{to}^{to+50y} \dot{H}(t)\, dt \quad \ldots\ldots (1.10)$$

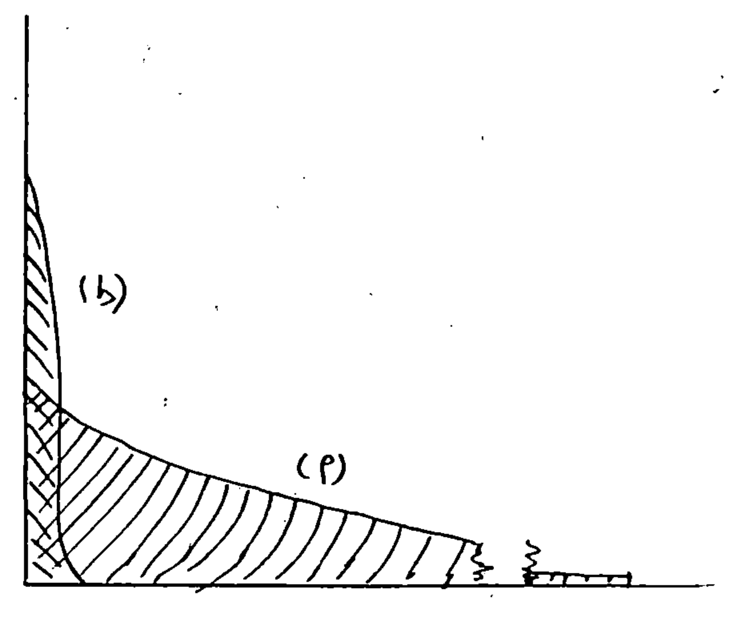
لتناول مفرد في زمن to حيث ان H(t) هو معدل مكافىء الجرع ذات العلاقة في عضو او نسيج في زمن t.

ومن الممكن توضيح ذلك في الشكل 1.1 الذي يمثل معدل مكافىء الجرع في نسيج بدلالة الزمن بعد تناول النويدات المشعة ذات عمر النصف المؤثر القصير والطويل. ان هذا يوضح العلاقة بين معدل مكافىء الجرع في النسيج ومكافىء الجرع المخصصة الذي هو مجموع المساحة المضللة.

9.9.3.1 مكافىء الجرع المؤثرة المخصصة (Committed effective dose equivalent)

اذا تم ضرب مكافئات الجرع المخصصة الى الانسجة المفردة الناتجة من التناول بواسطة معامل الوزن المناسب W_T وبعد ذلك جمعت فان النتيجة سوف تكون مكافىء الجرع المؤثرة المخصصة ولغرض تجنب الابهام في تعريف الانسجة الباقية فان التكامل الزمني يجب ان يتم قبل اختيار الانسجة ذات العلاقة لغرض الجمع.

وهـذه الكمية تعـطي مقياسـا للخطورة الكليـة للتأثـيرات الجسميـة والوراثية المعينة في الفرد الاعتيادي (Average individual) -وذريته من تناول المواد المشعة عند التناول وفي السنوات التي تلي التناول.



الشكل 1.1 معدل مكافىء الجرع في عضو او نسيج معـين الذي يتبـع التناول للنويدات المشعة (أ) الطويلة عمر النصف المؤثر (ب) القصيرة عمر النصف المؤثر

المصدر ICRP 42 (1984) 66

دليل الجرع الممتصة

يعرف دليل الجرعة الممتصة H_I في النقطة المثيرة للاهتمام بانه مكافىء الجرعة القصوى ضمن كرة ذات نصف قطر مقداره 30 سنتمتراً مرتكزة على نقطة من مادة مكافئة الى الانسجة الطرية ذات كثافة غرام الـواحد لكـل سنتمتر مكعب. ان هذه الكمية يرمز لها بانها دليل مكافىء الجرعة غير المقيد (unrestricted dose – equivalent index) ان المترتب المهم لهذا التعريف هو H_1 تعرف لمسافات تقرب 15 سنتمترا من المصدر. ان مكافىء الجرعة الاقصى يمكن ان يحدث في اية نقطة في الكرة وانه نادرا ما يحصل في مركز الكرة كما ان تعريف دليل مكافىء الجرعة ربما يحدد لاخذ الاشعاع ذي قوة النفاذ الواطئة بنظر الاعتبار. وفي هذه الحالة فانه من الملائم مراعاة مكافىء الجرعة الاقصى بصورة منفردة في القلب الداخلي في نصف قطر 14 سنتمترا ومكافىء الجرعة الاقصى في القشرة المحيطة التي يكون سمكها سنتمترا واحدا وهذه القيم القصوى يصطلح بتسميتها ادلة مكافىء الجرع العميقة والسطحية على التوالي وان رموزها هي H1 و $H1_s$ ويرمز لها بادلـة مكافىء الجـرع المقيدة. ان الاكبر منها هو مشابه لدليل مكافىء الجرع غير المقيد. ومن الموصى به ان دليل مكافىء الجرع السطحي سوف لا يشمل مكافىء الجـرعة في الـ 0.07 ملمتر من القشرة ذات السنتمتر الواحد.وذلك لان هذا يمثـل عمق الطبقة الاساسية للبشرة في منطقة عنـدما يكـون الجلد رقيقا وان اي تـأثير للاشعاع في الـ 0.07 ملمتر الخارجية يفترض انه يمكن اهماله.

الكميات المعنية بالسكان

تتعلق هـذه الكميات سـواء بصورة مبـاشرة او غير مبـاشرة بتعرض السكان الى الاشعاع وهي تكاد تكون جميعها كميات متجمعة مستندة الى كميات فردية اعطيت من قبل وتشمل:

5.4.3.1 مكافىء المتجمعة (Collective dose equivalent)

استنادا الى الفرضية القائلة بـان التأثـير يتناسب بصـورة مباشرة مـع مكـافىء الجرع فـانه يمكن تعـريف كمية بسيـطة لقيـاس مجمـوع التعـرض

الاشعاعي لمجموعة من الافراد.

ان الكمية التي عرفت من قبل الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع بوصفها مكافىء جرع متجمعة تعطى بالمعادلة

$$S = \int_{0}^{\infty} HN(H)dH \quad .... (1.11)$$

حيث ان $N(H)dH$ هو عدد الافراد الذين يتسلمون مكافىء جرع تقع بين H و $H + dH$. او بواسطة

$$S = \sum_{i} \bar{H}_i N(\bar{H})_i \quad .... (1.12)$$

حيث ان $N(\bar{H})$ هو عدد الافراد في السكان للمجموعة الثانوية i (Subgroup) المتسلمين لمتوسط مكافىء جرعة $\bar{H}_i$ كما ان مكافىء الجرع المتجمعة يمكن ان يقسم الى مكونات تقع ضمنها مجالات محددة للجرع الفردية.

مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة (Collective effective dose equivalent)

اذا تم التعويض عن مصطلحات مكافىء الجرع في التعاريف التي سبقت بمكافىء الجرع المؤثرة فعندئذ تكون التعاريف الناتجة مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة ورمزه S_E.

وكما لوحظ سابقا فان طريقة حساب H_E لا تتضمن اية اعتبارات للامراض السرطانية المميتة المحفزة نتيجة تشعيع الجلد او الاطراف. ان الهيئة العالمية للوقاية من الاشعاع قد اوصت انه بتقدير الضرر الناتج من تعرض مجاميع السكان فان هذا يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار وذلك بواسطة استعمال معامل خطورة في منطقة $10^{-4}\ SV^{-1}$ الى متوسط الجرعة على جميع سطح الجلد بما يماثل معامل وزن مقداره 0.01 وبما ان الكمية مكافىء الجرع المؤثرة قد عرف بصورة فريدة باستعمال معاملات الوزن الموجودة في الجدول 4.1 فان اضافة عامل اخر يتطلب تغييرات محددة في العوامل الاخرى لغرض تخفيض المجموع الى واحد.

ومن الناحية التطبيقية فان اضافة معامل قدره 0.01 للجلد لا يستحق اي تغييرات. واذا كانت الظروف تدعو لاخذ تشعيع الجلد بنظر الاعتبار فعندئذ يكون مجموع مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة زائداً ناتج متوسط جرعة الجلد. ومعاملات الوزن الاضافية يمكن ان يشار اليها مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة (وبضمنها الجلد) وان تعرف في كل مرة تستعمل فيها.

ان كلا التعريفين لمكافىء الجرع المتجمعة ومكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة لا يحدد بوضوح الزمن الذي تم اعطاء الجرعة فيه او ان الجرع لمجموعة مفردة تتقدم في العمر ومن ثم تموت او الى تعاقب مجاميع مكافئة وهذا الحذف قد ادى الى بعض الايهام بين الاستعمالات وعلى سبيل المثال بين مكافىء الجرع المتجمعة ومكافىء الجرع المتجمعة المخصصة التي سوف تعرف لاحقا. وفي حالات عملية متعددة فان مكافىء الجرع المتجمعة يحصل عليه بواسطة جمع الجرع المتسلمة خلال فترة زمنية محددة غالبا ما تكون مدة سنة واحدة. ان الابهام قد يزال فيما لو ان الفترة الزمنية والسكان التي تجمع مكافىء الجرع المتجمعة او تكامل يجري تحديده بوضوح عندما لا يكون ظاهرا.

وحتى لو كانت الفترة الزمنية التي يجري بمقتضاها حساب مكافىء الجرع المتجمعة قد اعتبرت على انها سنة واحدة فان مكافىء الجرع المؤثرة المخصصة المتجمعة الناتجة من تناول النويدات المشعة في تلك السنة يتضمن تكامل 50 سنة لمعدلات مكافىء الجرع في الاعضاء ذات العلاقة الناتج من التناول.

ـ مكافىء الجرع لشخص عادي مفترض (Per caput dose equivalent)

اذا تم تشعيع السكان بصورة منتظمة وكان عدد السكان يزداد فعندئذ يزداد مكافىء الجرع المتجمعة بصورة متناسبة. ومن المفيد في بعض الاحيان التعبير عن النتائج بمكافئات الجرع الى فرد عادي مفترض (Hypothetical average individual) كما ان هذه الكمية تدعى متوسط مكافىء الجرعة ولكن

اصبحت تعرف بمكافىء الجرع لشخص عادي مفترض لان ذلك يحدد الكمية التي يجري ايجاد المتوسط لها. وبالرغم من انها على ما يبدو تشير الى فرد فانها تقع ضمن الكميات المتعلقة بالسكان لانها تمثل مكافىء الجزع الى فرد واقعي مصادفة. انها متوسط مديات مكافئات الجرع الواقعية. ان من الممكن تعريف مكافىء الجرع المؤثرة لشخص عادي مفترض بنفس الطريقة المتعلقة بمكافىء الجرع المؤثرة..

ومن الممكن الحصول على مكافىء الجرع لشخص عادي مفترض بواسطة قسمة مكافىء الجرع المتجمعة على زمن محدد في مجتمع معين على عدد الافراد في ذلك المجتمع في ذلك الوقت او بصورة مباشرة اكثر بواسطة متوسط معدل الجرع الممتصة او تناول النويدات المشعة من المصدر وبهذا نحصل على متوسط مكافىء الجرع او مكافىء الجرع المخصصة. ان مثالا على الحسابات الاخيرة هو الحساب المباشر لمكافىء الجرع الخارجية الناتج عن التوزيع العالمي لكمية معينة من الكربتون - 85 في الجو عن طريق حسابات وسطى لمتوسط تركيز الكربتون في الهواء. وعندما يمكن التكهن بسير فعالية مستقبلية معينة وخواص السكان المعرضين فان الاختلاف الزمني لمكافىء الجرع لشخص عادي مفترض يمكن ان يعرف. ان هذا سوف يكون الاختلاف مع الزمن للفرد العادي في مجتمع محدد وليس بمكافىء الجرع في الافراد المعينين. وعلى سبيل المثال فان المجتمع الذي يهمنا ربما يحدد على انه الاطفال بعمر سنة واحدة ومعدل كمكافىء الجرع لشخص عادي مفترض من المطروح من نويدة مشعة محسوب لمدة مائة سنة من زمن الاطلاق. وهذه النتيجة سوف تنطبق على سلسلة من المجاميع من الاطفال الذي تبلغ معدلات اعمارهم سنة واحدة.

8.4.3.1 مكافىء الجرع المخصصة (Dose – equivalent commitment)

ان من الممكن تكامل الاختلاف في مكافىء الجرع لشخص عادي مفترض لممارسة معينة بدلالة الزمن ان النتيجة تدعى مكافىء الجرع المخصصة Hc الذي يعطى بالمعادلة

$$Hc = \int_{0}^{\infty} \bar{H}(t)dt \quad .... (1.13)$$

حيث تمثل $\bar{H}(t)$ معدل مكافىء الجرع لشخص عادي مفترض بدلالة الزمن. واذا كانت حدود الزمن العليا هي الما لا نهاية فان الكمية الناتجة تكون معروفة دون اثبات (Without qualification) بانها مكافىء الجرع المخصصة. واذا انهي التكامل بزمن مقداره T فعندئذ تعرف الكمية الناتجة بمكافىء الجرع المخصصة الناقص (Truncated (incomplete) dose – equivalent commitment) وانه يجب تحديد الزمن T.

كما ان مكافىء الجرع المخصصة لا تكون كمية مفيدة بصورة مباشرة لاغراض دراسات التبرير والوصول الى الحالة المثلى لانها تتعلق بمتوسط نظري وانه من الضروري معرفة حجم السكان لغرض الحصول على العدد الكلي من التأثيرات الصحية المفترضة وبهذه الكلفة. ومع هذا فانه من الممكن ايضاح. ان معدل مكافىء الجرع لشخص عادي مفترض المستقبلي الاقصى لوحدة الممارسة فيما لو استمرت الممارسة بنفس المعدل وان جميع العوامل الاخرى ذات العلاقة قد فرض انها تبقى ثابتة سوف تكون في حالة التوازن مساوية عدديا الى مكافىء الجرع المخصصة لوحدة الممارسة وهذه الملاحظة توفر طريقة بسيطة لتخمين مكافىء الجرع لشخص عادي مفترض المستقبلية السنوية الناتجة عن استمرار الممارسة.

وبنفس الطريقة فان معدل مكافىء الجرع لشخص عادي مفترض لوحدة الممارسة التي تستمر بنفس المعدل لـ T سنة حيث يتم بعد هذه المدة ايقافها يكون تحت معظم الظروف مساويا لمكافىء الجرع المخصصة لشخص عادي مفترض لوحدة الممارسة.

كما ان نفس الاعتبارات تنطبق عند ابدال مكافىء الجرع بمكافىء الجرع المؤثرة المخصصة.

5 مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة المخصصة

(Collective effective dose equivalent commitment)

ان مصدرا معينا او ممارسة معينة سوف تعطي معدل مكافىء جرع مؤثرة متجمعة تتغير مع الزمن كما ان مجموع مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة الناتجة من الممارسة يعطي بتكامل هذا والتعريف الرسمي لمكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة المخصصةسوف يكون بذلك

$$SEic = \int_{0}^{\infty} \dot{S}_E(t)dt \quad .... (1:14)$$

وبالرغم من ان مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة في سنة يمكن في بعض الاحيان ان يستعمل في دراسات التبرير والوصول الى الحالة المثلى فان الكمية الاكثر فائدة وعلى الاخص عند اخذ الضرر الصحي الكلي بنظر الاعتبار هي مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة المخصصة حول اتخاذ قرار معين او ممارسة كلية. ومع هذا فان الفرضية الملاحظة عندما ناقشنا مكافىء الجرع المؤثرة يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار.

ومن ناحية المبدأ فان تخمين معدلات مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة يمكن ان يؤخذ بنظر الاعتبار التنبؤات للتغييرات المستقبلية و الظروف البيئية. ومع هذا فان الصعوبة في التخمين تؤدي اعتياديا الى الفرضية الى الاستمرار غير المحدود للظروف الحالية للمعاملات مثل معاملات الانتقال البيئية وعادات البشر.

وبينما يكون هذا معقولا لفترة قصيرة لبعض حسابات النويدات المشعة الطويلة العمر.والتخصيصات غير المحدودة توحي بان الظروف الحالية تنطبق لالاف او ربما ملايين السنوات في المستقبل وهو الافتراض الذي يكون عرضة للانتقاد.

وبالرغم من ان الحسابات الرياضية لمكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة المخصصة ربما تبدو بسيطة حتى للنويدات المشعة الطويلة العمر فان الفرضيات التي عملت لابد ان تبقى بالذهن. سوف يكون غالبا هناك ميزة في الابقاء على الدلالة على المستويات السنوية لمكافىء الجرع المؤثرة الفردية وعلى الاختلافات الزمنية لمعدلات مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة بوصفها اضافه يمكن للقرارات ان تستند اليها.

كما ان من الممكن انهاء زمن التكامل في زمن مقادره T بعد بدء الممارسة التي تنتج في مكافىء جرع مؤثرة متجمعة مخصصة ناقصة والقرار لاستعمال هذه الكمية في التبرير والوصول الى الحالة المثلى بدلا من التكامل اللامحدود لا يمكن ان يبرر دائما بالاشارة الى طول الزمن الذي يفترض ان الممارسة سوف تستمر لانه ربما سوف لا تكون علاقة بين ذلك والزمن T مع هذا في مناسبات متعددة فان ما سوف يكون مطلوبا هو مقارنة بين لتأثيرات ذات المدى القصير (Short term effects) للقرارات البديلة على سبيل المثال في خيارات معاملة النفايات التي تميز باستعمال كميات ناقصة ولكن ظهر في تكامل غير منتهي.

ملحق 2

التعاريف

(ملحق 2 التعاريف)

1 **الفاعلية** (Activity) ان فعالية نظير مشع هي حاصل قسمة عدد التحولات الذاتية التي تحدث في تلك الكمية ويرمز لها بالرمز dN, بالفترة الزمنية dt

(A = dN dt).

ان الوحدة الخاصة بالفعالية بنظام SI هي البكريل (Bq) والوحدة بالنظام القديم هي الكيوري (Ci)

2 **التعرض نتيجة الحوادث** (Accidental exposure)

وهو التعرض الذي يفوق التعرض فيه احد حدود الجرع وينتج هذا التعرض مصادفة خارج ارادة الشخص المتعرض وقد يكون الشخص المتعرض احد العاملين في حقول الاشعاع او ان يكون افراد المجتمع عرضة للتعرض الى الاشعاع بصورة غير طبيعية.

3 **الحدود السنوية للتناول** (Annual limits of intake)

ومختصرها ALI وهي الحدود الثانوية للتعرض الداخلي المهني حيث تكون اقل كمية متناولة في السنة من قبل الرجل القياسي من النظير المشع والذي ينتج عنه مكافىء جرع مؤثرة مخصصة مقدارها 50 mSv او مكافىء جرعة مخصصة لعدسة العين مقدارها 150 mSv او لاي نسيج او عضو ما مقداره 500 mSv كما ما هو موضح في المصادر (56 – 60)

4 **الطبيب المأذون بالممارسة** (Approved medical practioner)

وهو الطبيب الممارس المسؤول عن المراقبة الطبية للعاملين في حقول الاشعاع الذين يشتغلون في القسم آ من ظروف العمل والمعترف بقيامة بهذا النوع من العمل من قبل السلطات المختصة.

5 **السلطات المختصة** (Competent authority)

سلطة وطنية معينة او معروفة من قبل الدولة انشئت لاغراض الوقاية من الاشعاع (هيئة الوقاية من الاشعاع في العراق مثلا).

6 **المنطقة المسيطر عليها** (Controlled area)

وهي المنطقة الخاضعة لقواعد خاصة لغرض الوقاية من الاشعاع ويكون الدخول لهذه المنطقة تحت الشيطره.

7 **تحليل الكلفة - المنفعة التفاضلي** (Differential cost – benefit analysis)

وهو تحليل متسلسل يشمل التغييرات الجزئية للكلف والمنافع لعدد من الطرائق وهو يعني هنا اسلوبا للوصول بالوقاية من الاشعاع الى الحالة المثلى من حيث النفقات للحصول على تعرض يكون على اقل ما يمكن منطقيا لحدود التعرض الاشعاعي.

8 **المجموعة الحرجة** (Critical group)

وهي المجموعة التي يكون تعرضها متماثلا بصورة معقولة ويمثل مجموعة الاشخاص الذين يتسلمون اعلى الجرع.

9 تركيز الهواء المشتقة (Derived air concentration)

وهو حد مشتق لاي نظير مشع يمكن استخراجه من الحدود الاولية عن طريق معادلة ويمثل التركيز في الهواء (Bqm^{-3}) الذي اذا استنشق بواسطة الرجل القياسي لسنة عمل مكونة من 2000 ساعة في ظروف عمل تكون الفعالية فيها قليلة (معدل التنفس 1.2 متر مكعب/ ساعة) ينتج عنه استنشاق (ALI) واحد او التركيز في الهواء الملوث الذي خلال 2000 ساعة ينتج عنه تشعيع لاي عضو او نسيج لاي حد مناسب.

10 الضرر (Detriment)

وهو التوقع الحسابي للضرر والذي يحسب بالاخذ بنظر الاعتبار التأثير واحتمالية الحدوث

11 الجرعة (Dose) ويقصد بها الجرعة الاشعاعية وقد تعني الجرعة الممتصة ومكافىء الجرع ومكافىء الجرع المؤثرة ومكافىء الجرع المؤثرة المخصصة والجرعة المخصصة او الجرعة المتسجمعة. وتستعمل كلمة جرعة بصورة عامة للدلالة على الجرعة الممتصة او مكافىء الجرعة.

12 الجرعة الممتصة (Absorbed dose)

ان الجرعة الممتصة في نقطة من المادة تكون حاصل قسمة الطاقة الرئيسة الداخلة (المنقولة) الى المادة بواسطة الاشعة المؤينة في حجم ($d\bar{E}$) على كتلة المادة في ذلك الحجم المحتوي على النقطة التي يراد ايجاد الجرعة فيها ($D = d\bar{E}/dm$)

ان وحدة الجرعة الممتصة في نظام SI هي جول لكل كيلوغرام واسمها الخاص غراي ووحدتها في النظام القديم هي الراد.

13 مكافىء الجرعة (Dose equivalent)

ورمزه H وهو يساوي ، (H = DQN) حيث يكون Q معامل النوعية وتكون N هي ناتج العوامل المحورة الاخرى وتكون قيمتها واحدا في الوقت الحاضر وتكون D الجرعة الممتصة. ان وحدة مكافىء الجرعة في نظام SI هي السيفريت ومختصرها Sv التي تساوي $1JKg^{-1}$ ووحدتها في النظام القديم الريم (rem)

14 مكافىء الجرعة المؤثرة (Effective dose equivalent)

وهو معطى في المعادلة حيث يرمز له H_E

$$HE = \sum T W_T H_T$$

حيث يكون H_T معدل مكافىء الجرع في نسيج او عضو t و W_T هو معامل الوزن حيث يمثل نسبة الضرر الناتج من التأثير المنظور الناتج في النسيج T الى مجموع الضرر الناتج من التأثير المنظور عندما يشعع الجسم بصورة منتظمة.

15 مكافىء الجرع المؤثرة المخصصة (Effective dose equivalent commitment)

ورمزه $(\bar{H}_{E,C})$ ان مكافىء الجرعة المؤثرة المخصصة لاي قرار او عمل هي التكامل الزمني اللامحدود لمكافىء الجرع المؤثرة الفردية (per caput) بمتجمع معين وتعطى قيمتها في المعادلة

$$H_{E,C} = \int_0^\infty \bar{H}_E(t)dt$$

ولا يشترط ان يكون عدد العاملين المعرضين ثابتا

16 مكافىء الجرع المؤثرة المخصصة (Committed effective dose equivalent)

ويرمز له (HE, 50) وهو مكافىء الجرعة المؤثرة المخصصة الناتجة عن تناول المواد المشعة داخل الجسم هو مكافىء الجرعة المؤثرة التي تتجمع خلال 50 سنة بعد التناول وبالمعادلة

$$HE,50 = \int_{t=o}^{t=o+50y} H_E(t)dt$$

حيث تكون $H_E(t)$ معدل مكافىء الجرعة المؤثرة ذات العلاقة الناتجة من التناول و to هو زمن التناول وفي بعض الاحيان وعند تطلب الضرورة ذلك فانه من الممكن اخذ زمن تكاملي اكثر من 50 سنة لغرض تقدير الجرع لطيلة العمر.

17 مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة (Collective effective dose equivalent)

ويرمز لها S_E وهي مجموع الضرر الصحي الناتج عن مصدر معين وتعطى بالمعادلة

$$SE = \int_{0}^{\infty} H_E \, N(H_E). \, dH_E \text{ Cin man sievert}$$

حيث يكـون $N(H_E)d\,H_E$ هو عـدد الاشخاص الـذين يستلمون مكافىء جرع مؤثرة تتراوح بين H_E و $H_E - dH_E$ من مصدر معين.

18 دلائل مكافىء الجرع (Dose equivalent indices)

وتشمل :

18.1 دليل مكافىء الجرع العميق (Deep dose equivalent index) ورمزه HI,d الذي يكون في نقطة هو اقصى مكـافىء جرعـة ضمن نصف قطر قدره

28 سنتمترا من كرة نصف قطرها 30 سنتمترا متمركزة على هذه النقطة ومتكونة من مادة مكافئة لنسيج طري كثافته 1 غرام لكل سنتمتر مكعب

2.18 دليل مكافيء الجرع الضحل (Shallow dose equivalent index) ورمزه HI_S وهو اقصى مكافيء جرعة ضمن حجم بين 0.07 ملمتر وواحد سنتمتر من سطح كرة نصف قطرها 30 سنتمتر متمركزة على النقطة ومكونة من مادة مكافيء نسيج طري ذي كثافة 1 غرام لكل سنتمتر مكعب.

19 الكترون فولت Electron Volt ومختصره eV وتبلغ قيمته حسب المعادلة $1eV - 1.602x10^{-19} J$

20 تعرض الطواريء (Emergency exposure) وهو التعرض الذي يتسلم في الحالات غير الطبيعية لغرض منع الاصابات او انقاذ الحياة او الممتلكات.

21 التعرض (Exposure) ويعني تعرض الاشخاص للاشعة المؤينة وقد يكون

1.2.1 تعرضا خارجيا External exposure وهو تعرض الى مصادر اشعاعية موجودة خارج الجسم.

2.21 التعرض الداخلي Internal exosure وهو التعرض الى مصادر اشعاعية داخل الجسم

3.21 التعرض الكلي Total exposure ويشمل مجموع التعرض الخارجي والتعرض الداخلي.

22 **الاشعة المؤينة** (Ionization radiation) وهي الاشعة الكهرومغناطيسية وتشمل الاشعة السينية وفوتونات كاما او اشعاع جسيمي قادر على انتاج تاين خلال مروره بالمادة

23 **الادارة** (Management) وترمز الى التركيب الاداري وسلسلة المسؤوليات لغرض تشغيل منشأة او القيام بعملية تستعمل فيها مواد مشعة او مصدر مشع وتستعمل هنا كلمة رب العمل للعاملين تحت سلطته.

24 **التعرض الطبي** (Medical exposure) وهو التعرض الناتج عن الفحص والمعالجة الطبية.

25 **التعرض الطبيعي للاشعاع** (Natural radiation exposure)

وهو تعرض الانسان لمصادر الاشعاع الطبيعية من داخل جسمه ومن مصادر الاشعاع الخارجية التي تشمل الاشعة الكونية وكذلك مصادر الاشعاع ذات المنشأ الارضي من النظائر المشعة الموجودة بصورة طبيعية في قشرة الارض وفي الهواء.

26 **التعرض الى الاشعاع الطبيعي (المحور تقنياً)**

(Technologically enhanced natural radiation exposure)

وهو التعرض الناتج من المصادر الطبيعية التي غيرت حالتها الاصلية بفعل النشاط البشري. ان هذا التعرض ربما يحدث من استعمال خامات المعادن او المخلفات الصناعية مثل مواد البناء واستخدام الوقود النفطي والاسمدة المحتوية على الفوسفات وتشغيل بعض المناجم والسفر جواً.

27 النويدة (Nuclide) ذرة لها عدد معين من النيوترونات والبروتونات في نواتها. ان النُويدات التي لها نفس العدد الذري ولكن لها كتل مختلفة تدعى نظائر

28 التعرض المهني (Occupational exposure) وهو التعـرض الذي يحصـل نتيجة اشتغال الافراد.

29 الخبـير المؤهل (Qualified expert) وهـو الشخص الذي لـديـه الخـبرة والتدريب حسب متطلبات السلطات المختصة لغرض ابداء المشـورة للخطـوات المتخـذة في مجال وقـايـة الاشخاص العاملين في حقول الاشعـاع المؤين.

30 معامل النوعية (Quality factor) وهو المعامل الذي يستعمل لوزن الجرع الممتصة لايجاد مكافىء الجرع

31 الاشعاع (Radiation) ويعني به الاشعاع المؤين

32 مسؤول الوقاية من الاشعاع (Radiation protection officer)

وهو شخص مؤهل عمليا وهو معين من قبل الادارة لغرض الاشراف على تطبيق انظمة واجراءات الوقاية من الاشعاع.

33 المصدر المشع (Radiation source) وهو المادة او الجهاز القابل على انتاج الاشعة المؤينة.

34 الرعاية الصحية الخاصة (Special health supervision)

وهو التحري الطبي الذي يشمل التحري الطبي الاعتيادي والتحري الخاص للعاملين في الحالة آ ويعتمد على طبيعـة المخاطـر الخاصـة بالعمـل بالاضافة الى المتطلبات الصحية المتعلقة بطبيعة العمل.

35 مستوى العمل الشهري (Working level month)

ومختصره WLM وهو الوحدة العملية المعبر عنها بـالزمن التكـاملي للتعـرض المستعملة في حـالات الاستنشـاق لبنـات الـرادون 222 - والـرادون 220 - القصـيرة الـعمـر وهـو يسـاوي 0.02J لبـنـات الرادون 222 - و 0.01J لبنات الرادون 220 -

الملحق (3)

معاني الكلمات

(الملحق 3 معاني الكلمات)

Abnormal exposure	التعرض غيز الطبيعي
Absolute assessment	التقدير المطلق
Absorbed dose index	دليل الجرعة الممتصة
Absorbed dose rate	معدل الجرعة الممتصة
Absorbed fraction method	طريقة الجزء الممتص
Accidental exposure	التعرض نتيجة الحوادث
Acceptable risk	الخطورة المقبولة
Access control	السيطرة على الدخول
Activity concentration	تركيز الفعالية
Activated corrosion prorducts	نواتج التآكل المنشطة
Activated gases	الغازات المنشطة
Activity	الفعالية
Acute effect,	التأثيرات القصيرة الامد (الحادة)
Acute exposure	التعرض لوقت قصير (الحاد)
Air equivalence	المكافىء الهوائي
Alpha emission	بعث الفا
Alpha particles	جسيمات الفا
Ambient concentration	التركيز الطبيعي
Ambient levels	المستويات الطبيعية
Annihilation	الفناء
Annihilation radiation	اشعاع الفناء
Annual absorbed dose index	دليل الجرع الممتصة السنوي
Annual collective dose	الجرع المتجمعة السنوية
Annual intake of radionuclides	التناول السنوي للنويدات المشعة
Annual limits of intake	حدود التناول السنوي

Anorexia	فقدان الشهية
Antineutròno	مضاد النيوترونو
Antistatic device	جهاز مضاد للكهربائية المستقرة
Appropriate intervention level	مستوى التدخل المناسب
Approved medical practioner	الطبيب الممارس المعتمد
Aquatic pathway	الطرائق المائية
Artificial radionuclides	النويدات المشعة الصناعية
As low as reasonably	اقل ما يمكن منطقياً
Assessment methodology	الطرائق التخمينية
Astronauts	رواد الفضاء
Atom	درة
Atomic cross section	مقطع الذرة العرضي
Atomic mass	كتلة الذرة
Atomic weight	الوزن الذري
Atmospheric diffusion factor	معامل الانتشار الجوي
Almospheric transport	الانتقال الجوي
Attenuate	يوهن
Authorized	مصرح به
Authorized limits	الحدود المصرح بها
Authorized reference level	الحدود المصدرية المصرح بها
Average absorb dose	متوسط الجرع الممتصة
Average activity concentration	متوسط تركيز الفعالية
Average annual intake	متوسط التناول السنوي
Average outdoor terrestrial absorbed dose rate	متوسط الجرعة الممتصة الارضية في العراء

Average whole body dose	متوسط جرعة عموم الجسم
Backscatter	تشتت مرتد
Base nuclide	نويدة عادية
Basal cells	خلايا قاعدية
Basal layer	طبقة قاعدية
Basic dose limits	حدود الجرع الاساسية
Basic safety standard	معايير السلامة الاساسية
Becquerel	وحدة قياس الفعالية لنظام SI
Beta burns	الحروق الناتجة بفعل اشعة بيتا
Beta emmiters	مطلقات دقائق بيتا
Beta particles	دقائق بيتا
Beta – ray counting	عد دقائق بيتا
Bioconcentration	التركيز الحياتي
Biological decay constant	ثابت الانحلال الحياتي
Biological effect of radiation	التأثير البايولوجي للاشعاع
Biological elimination rate	معدل الطرح الحياتي
Biological	حياتي
Biosphere	الوسط الحياتي
Blood forming system	نظام تكوين الدم
Body burden	عبىء الجسم
Bone lining cells	الخلايا المبطنة للعظام
Bone minerals	املاح العظام
Bone marrow transplant	زرع نخاع العظام
Bone seekers	قاصدات العظام
Bound electrons	الالكترونات المرتبطة

Bremsstrahlung	اشعاع الايقاف (الكبح)
Burn out feul	الوقود المحروق
By product	نواتج عرضية
Calibration	تعسير
Calibration quantities	كميات تعبير
Calorimetry	مقياس الشعرات
Candle	شمعة
Carcinogen	مسببة للسرطان
Carcinogenic risk	الخطورة السرطانية
Cataract	عتمة عدسة العين
Cellular level	مستوى الخلية
Charged particles	الجسيمات المشحونة
Chelating agents	مركبات مخلبية
Chemical dosimetry	مقاييس الجرع الكيمياوية
Chromosomal abberation	التكسر الكروموسومي
Chronic exposure	التعرض الطويل الأمد
Cladding	الاحتواء
Classification of workers	تصنيف العاملين
Classification of work places	تصنيف محلات العمل
Collective dose	الجرع المجمعة
Collective dose commitment	الجرع المتجمعة المخصصة
Collective effective dose equivalent	مكافىء الجرع المؤثرة المتجمعة
Collective intake	التناول المتجمع
Collision stopping power	قوة الايقاف الارتطامية

Compartment model	النموذج الحيزي (الحجيري)
Compton scattering process	فعالية تشتت كومبتن
Concentration factor	معامل التركيز
Condition of exposure	ظروف التعرض
Conservative assessment	تقدير محافظ
Consumer products	سلع إستهلاكية
Containment building	البناية الحاوية
Containment of waste	احتواء النفايات
Control rods	قضبان السيطرة
Conversion efficiency	كفاءة التحويل
Conversion electron	الالكترونات المحولة
Corpuscular emmision	انبعاث حزيمي
Correction factor	معامل تصحيح
Cosmic rays	الاشعة الكونية
Cosmogenic radionulides	النويدات المتولدة بفعل الاشعة الكونية
Cost – benefit analysis	تحليل الكلفة ـ المنفعة
Count rate	معدل العد
Critical group	المجوعة الحرجة (الاكثر تأثراً)
Critical tissue	النسيج الحرج
Curie	وحدة قياس الفعالية القديمة
Cyclotron	المعجل
Decay	انحلال
Decay constant	ثابت الانحلال
Deep dose equivalent index	دليل مكافىء الجرع العميق
Delay electrons	الالكترونات المؤجلة
Delayed somatic effects	التأثيرات الجسمية المؤجلة

Depleted uranium	اليورانيوم المستنفد
Deposition Velocity	سرعة الترسيب
Derived air concentration	تركيز الهواء المشتق
Derived intake level	حدود التناول المشتقة
Derived limits	الحدود المشتقة
Detection	الكشف
Detector	كاشف
Deuterium	الهايدروجين الثقيل
Differential cost – benefit analysis	تحليل الكلفة ـ المنفعة التفاضلي
Disintegration	اضمحلال (انحلال)
Disposal	ردم
Dose	جرعة
Dose conversion factor	معامل تحويل الجرع
Dose equivalent	مكافئ الجرع
Dose – equivalent index	دليل مكافئ الجرع
Dose – equivalent rate	معدل مكافئ الجرع
Dose – fractionation	تقسيط الجرع
Dose – limitation system	نظام تحديد الجرع
Dose – rate	معدل الجرع
Dose – response relationship	علاقة الجلاع بالاستجابة
Dosimeters	مقاييس الجرع
Dosimetric models	نماذج مقاييس
Dosimetric parameters	معاملات مقاييس جرع
Effluent	المواد المطروحة
Effluent release	طرح المواد
Effective atomic number	العدد الذري المؤثر

Effective decay constant	ثابت الانحلال المؤثر
Effective dose – equivalent	مكافىء الجرع المؤثر
Effective specific activity	الفعالية الخاصة المؤثرة
Elastic scattering	التشتت المرن
Electrons	الالكترونات
Electron capture	اسر الالكترون
Electron mass	الزوج الالكتروني ـ البوزتروني
Electron – positron pair	كتلة الالكترون
Electromagnatic radiation	الاشعاع الكهرومغناطيسي
Elementary particles	الجسيمات الابتدائية
Emergency	حالة طوارىء
Emergency exposure	التعرض في حالة الطوارئ
Emergency plan	خطة الطوارىء
Energatic electrons	الالكترونات المشحونة الطاقة
Energatic gamma rays	اشعة كاما المشحونة الطاقة
Energy	طاقة
Energy fluence	دفق الطاقة
Energy imparted	الطاقة الداخلة
Energy orbit	مدار الطاقة
Energy response	استجابة الطاقة
Energy state	حالة الطاقة
Enhenced indoor exposure	التعرض داخل الابنية المزاد
Environment concentration	التركيز البيئي
Environment remova process	فعاليات الازالة البيئية
Environment state	حالة البيئة
Environment transport	الانتقال البيئي

EPA	وكالة البيئة الامريكية
Epidemiological studies	الدراسات المرضية
Epilation	تساقط الشعر
Epithermal neutrons	النيوترونات شبه الحرارية
Equillibrim dose constant	ثابت جرعة إلتوازن
Excited state	حالة التهيج
Exposure	تعرض
External exposure	تعرض خارجي
External source	مصدر خارجي
Extraterrestrial origin	ذات المنشأ غير الارضي
Fabrication	تصنيع
Fallout	المتساقطات
Fast breeder reactor	مفاعل التوليد السريع
Fast neutrons	النيوترونات السريعة
Fitness	ملائمة
Finite cloud	غيمة منتهية
Fission chain reaction	تفاعل متسلسل انشطاري
Fission fragments	شظايا الانشطار
Fission neutrons	نيوترونات انشطارية
Fission products	نواتج الانشطار
Fluence	دفق
Fluence density	كثافة الدفق
Fluorescence	التوهج (تألق)
Fluorescence radiation	اشعاع التألق
Fluorescence yeild	ناتج التألق

Flux	فيض
Flux density	كثافة الفيض
Free electrons	الكترونات حرة
Fuel	وقود
Fuel fabrication plant	معمل تصنيع الوقود
Fuel pins	اقلام الوقوه
Fuel reprocessing	اعادة معاملة الوقود (استخلاص)
Galactic cosmic rays	الاشعة الكونية الكواكبية
Galactic low energy protons	البروتونات الكواكبية ذات الطاقة الواطئة
Gamma rays	اشعة كاما
Gamma rays count	عد اشعة كاما
Gamma ray spectrometry	تحليل اطياف كاما
Gastero – intestinal system	الجهاز الهضمي
Gene mutation	الطفرة الجينية
Genetic damage	التلف الوراثي
Genetically signi ficient dose	الجرعة المهمة وراثيا
Geological containment	الاحتواء الجيولوجي
Germ cells	الخلايا الجنسية
Global model	النموذج العالمي
Gonads	الاعضاء التناسلية (الغدد)
Ground level conceatraiion	مستوى التركيز الارضي
Ground state	الحالة الارضية
Guideline	ضوابط
Haemopoitic system	نظام الدم
Half life	عمر النصف

Half value layer	الطبقة المنصفة للقيمة
Hard gamma	اشعة كاما القوية
Health detriment	الضرر الصحي
Health supervision	الرقابة الطبية (الاشراف الطبي)
Heavy hydrogen	الهايدوجين الثقيل
Heavy water reactor	مفاعل الماء الثقيل
Heredity defects	العيوب الوراثية
Heterogenous	هجيني
High activity waste	النفايات العالية النشاط الاشعاعي
High dose rate	معدل جرع عالي
High energy cosmic ray	الاشعة الكونية العالية الطاقة
High energy radiation	الاشعاع ذو الطاقة العالية
High level waste	النفايات المشعة ذات مستوى الفعالية العالي
High linear energy transfer	انتقال الطاقة الخطي العالي
Highly converted transition	التحولات العالية
ICRP	اللجنة العالمية للوقاية من الاشعاع
Incident mono – energatic photon	الفوتون الساقط الاحادي الطاقة
Indirectly ionizing	مؤين بصورة غير مباشرة
Individual risk criteria	مفاهيم الخطورة الفردية
Industrial tracers	معلمات صناعية
Industrial radiography	تطبيقات صناعية للاشعاع
Inelastic collision	ارتطام غير مرن
Inelastic scattering	تشتت غير مرن
Ingrowth radon progency	تراكم خلف الرادون

Initial dose rate	معدل الجرع الاولي
Interaction of charged particles	تفاعل الجسيمات المشحونة
Interaction of radiation with matter	تفاعل الاشعاع مع المادة
Internal bremsstrahlung	اشعاع الايقاف الداخلي
Internal conversion	التحول الداخلي
Internal conversion coefficient	معامل التحول الداخلي
Internal emitters	باعثات داخلية
Ionizing radiation	الاشعاع المؤين
Ionizing radiation dosimetry	مقاييس جرع الاشعاع المؤين
Irradiation	تشعيع
Isobars	نويدات مختلفة العدد الذري متساوية العدد الكتلوي
Isomers	نويدات لها نفس العدد الذري والعدد الكتلوي
Isotones	نويدات لها نفس العدد من النيوترونات ولكن العدد الكتلوي مختلف
Isotops	نظائر مشعة (نفس العدد الذري واعداد كتلوية مختلفة)
Kinetic energy	طاقة حركية
Latency	كامنة
Lens opacities	عتمة العين
Life shortening	تقصير العمر
Limits	حدود
Linear attenuation coefficient	معامل التوهين الخطي
Linear energy transfer	انتقال الطاقة الخطي

Liquid effluent	مواد سائلة
Liquid radioactive waste	نفايات مشعة ، سائلة
Local dose rate	معدل جرع محلي
Local operation instruction	تعليمات تشغيل محلية
Log – normal form	شكل لوغارتم ـ اعتيادي
Low. activity gaseous waste	نفـايات مشعـة غازيـة واطئة النشـاط الاشعاعي
Low activity liquid waste	نفـايات مشعـة سائلة واطئـة النشـاط الاشعاعي
Low level waste	نفايات مشعة واطئة النشاط الاشعاعي
Lymph nodes	العقد اللمفاوية
Major pathway	طريق رئيسي
Man – made – sources	مصادر صناعية
Mass absorption coefficient	معامل الامتصاص الكتلوي
Mass attenuation coefficient	معامل التوهين الكتلوي
Mass defects	العيوب الكتلوية
Mass energy absorption	امتصاص الطاقة الكتلوي
Mass number	العدد الكتلي
Mathematical model	النموذج الحسابي
Maximum cosmic rays flux density	كثافة الفيض القصوى للاشعة الكونية
Maximum energy transfer	انتقال الطاقة الاقصى
Maximum exposure rate	معدل التعرض الاقصى
Maximum fractional transfer	الانتقال الجزئي الاقصى
Maximum permissible body burden	عبأ الجسم الاقصى المسموح به

Mean life	متوسط العمر
Measuring instrument	جهاز قياس
Measuring standard	معيار قياس
Median lethal dose	التي تقتل 50%
Medical exposure	التعرض الطبي
Member of public	افراد السكان
Metabolic parameters	معاملات التمثيل
Meteorological dispersion calculations	حسابات الانتشار الجوي
Mid line tissue dose	جرعة وسط النسيج
Mid point dose	جرعة الوسط
Migration	تحرك ونزوح
Molecular biology	علم الاحياء الجزيئي
Monitoring	مراقبة
Mono – energatic	احادية الطاقة
Mutation frequency	تردد الطفرات
Mutation rate	معدل الطفرات
National authority	السلطة الوطنية
National standard	المعيار الوطني
Natural bactground	الخلفية الاشعاعية
Natural isotops	النظائر المشعة الطبيعية
Natural radioactivity	النشاط الاشعاعي الطبيعي
Nausea	الغثيان
Neutron	النيوترونات
Neutron capture	الاسر النيوتروني
Neutron detection	الكشف عن النيرتونات
Neutron dose equivalent	مكافىء الجرع النيوترونية

Neutron energy transfer	انتقال طاقة النيوترونات
Neutron number	العدد النيوتروني
Neutron process	الفعالية النيوترونية
Noble gases	الغازات النبيلة
Non – fatal disability	العوق غير المميت
Non – radiological detriment	الضرر غير الاشعاعي
Non – radiological hazard	الخطورة غير الاشعاعية
Non – stochastic	غير احتمالي، غير عشوائي
Normal diet levels	مستويات الاغذية الطبيعية
Normalized collective absorbed dose equivalent commitments	مكافىء الجرع المعدلة الممتصة المتجمعة المخصصة
Nominal dose	الجرع النظرية
Nuclear fission	انشطار نووي
Nuclear fission reaction	تفاعلي انشطاري نووي
Nuclear fuel cycle	دورة الوقود النووي.
Nuclear medicine	الطب الذري
Nuclear photoelectric effect	التأثير النووي الكهروضوئي
Nuclear reaction	التفاعل النووي
Nuclei	النواة
Nuclide	النويدة
Occupational exposure	تعرض مهني، تعرض وظيفي
Occupational limits	الحدود المهنية،الحدود الوظيفية
Occupational workers	العاملين المهنيين
Operation	التشغيل
Operation instruction	تعليمات التشغيل
Operation limits	الحدود التشغيلية

Operation procedure	اساليب التشغيل
Operation quantities	كميات تشغيلية
Optimal theoratical protection	الوقاية المثلى النظرية
Out door source of radiation	مصادر الاشعاع في العراء
Over exposed person	شخص تعرض غاليا للاشعاع
Over exposure	التعرض العالي الاشعاع
Pair production	انتاج الزوج
Parent nuclide	النويدة الاهل
Partial body exposure	تعرض جزء من الجسم
Partial containment	الاحتواء الجزئي
Partial dominance	التغلب الجزئي
Particle counting	عد الجسيمات
Particulate radionuclide	النويدات المشعة الجسيمية
Pasquill meteorological categories	اصناف باسكوال الانوائية
Penterating beta radiation	اشعاع بيتا النفاذ
Permenant scarring	الندب الدائمية
Personal dose	الجرع الشخصية
Phantom	شبح
Phosphate fertilizers	الاسمدة الفوسفاتية
Phosphate rocks	الصخور الفوسفاتية
Phosphogypsum	الجبس الفوسفاتي
Photoelectrons	الالكترونات الضوئية
Photons	الفوتونات
Photon flux	الفيض الفوتوني
Physical average life	متوسط العمر الفيزياوي
Physical surveillance	المراقبة الفيزياوية

Planned special exposure	التعرض المتعمد الخاص
Plutonium recycling	اعادة استعمال البلوتونيوم
Pneumonia	ذات الرئة
Pocket dosimeter	مقياس الاشعاعي الجيبي
Point mutation	طفرة نقطية
Point Source	مصدر نقطي
Point source equation	معادلة مصدر نقطي
Positive net benefit	منفعة صافية موجبة
Power plants	محطات القوى
Premature aging	شيخوخة مبكرة
Pressurized water reactor	مفاعل الماء المضغوط
Primary cosmic rays	الاشعة الكونية الابتدائية
Primary circuit water	مياه الدورة الاولى
Primary dose equivalent limits	حدود مكافىء الجرع الابتدائية
Primary galactic cosmic rays	الاشعة الكونية الكواكبيةإلابتدائية
Primary limits	الحدود الابتدائية
Primary standards	المعايير الابتدائية
Primordial radionuclides	النويدات المشعة
Prodromal syndrome	مرض الاشعاع
Prognosis	تطور المرض
Proportional counter	العداد التفاضلي
Protons	البروتونات
Provision	ضوابط
Quality control	السيطرة النوعية
Quality factor	معامل النوعية
Quality of radiation	نوعية الاشعاع

Radiation	الاشعاع
Radiation chemical yeild	ناتج الاشعاع الكيمياوي
Radiation concept	مفهوم الاشعاع
Radiation detriment	الضرر الاشعاعي
Radiation dosimetry	مقياس الجرع الاشعاعية
Radiation field	المجال الاشعاعي
Radiation intensity	شدة الاشعاع
Radiation monitoring	المراقبة الاشعاعية
Radiation sickness	مرض الاشعاع
Radioactive atomic transformation	تحول ذري مشع
Radioactive chain	سلسلة مشعة
Radioactive constant	ثابت الاشعاع
Radioactive decay	الانحلال الاشعاعي
Radioactive decay law	قانون الانحلال الاشعاعي
Radioactive equilibrium	التوازن الاشعاعي
Radioactive nuclear particles	الجسيمات النووية المشعة
Radioactive progeny	الخلف الاشعاعي
Radioactive release	طرح المواد المشعة
Radioactive series	السلسلة المشعة
Radioactive waste	النفايات المشعة
Radioactivity	النشاط الاشعاعي
Radioactivity of air	نشاط الهواء الاشعاعي
Radioactivity of natural environment	النشاط الاشعاعي في البيئة الطبيعية
Radioactivity in water	النشاط الاشعاعي في الماء
Radiochemistry	الكيمياء الاشعاعية

English	العربية
Radioisotops production	انتاج النظائر المشعة
Radiological consequence	المترتبات الاشعاعية
Radiological protection	الوقاية من الاشعاع
Radioluminous products	المنتجات اللماعة
Radiometry	طريقة القياس الاشعاعية
Radionuclides	النويدات المشعة
Radiopharmaceuticals	المواد الصيدلانية المعلمة بالاشعاع
Radiotherapy	المعلمة بالمواد المشعة
Radon decay constant	ثابت انحلال الرادون
Range	مدى
Rate of energy flux density	معدل كثافة الفيض للطاقة
Reactor	مفاعل
Reactor shut down	ايقاف المفاعل
Recessive mutation	طفرة وراثية متنحية
Recording level	مستوى التسجيل
Recoiled particles	الجسيمات المرتدة
Red bone marrow	نخاع العظام الاحمر
Reference accident	حادثة مصدرية
Reference distribution	توزيع مصدري
Reference levels	حدود مصدرية
Reference radiation	اشعاع مصدري
Refernce situation	حالة مصدرية
Reference standard	معيار مصدري
Regional dispersion	الانتشار المحلي
Regulatory bodies	الهيئات التشريعية
Relative biological effectiveness	الفعالية البايولوجية النسبية

Remedial actions	الاجراءات التصحيحية
Reprocessing of irradiated fuel	اعادة معادلة الوقود المشعع
Resonance neutrons	النيوترونات الرنانة
Repository	محلات ردم النفايات
Rest mass	الكتلة في حالة الاستقرار
Restricted exposure	التعرض المحدد
Restricted linear collision	الارتطام الخطي المحدد
Restricted stopping power	قوة الايقاف المحددة
Risk assessment	تقدير الخطورة
Risk factor	معامل الخطورة
Roentgen	وحدة التعرض القديمة
Roentgen equivalent man	رونكن مكافىء الرجل
Secondary comic rays	الاشعة الكونية الثانوية
Secondary limits	الحدود الثانوية
Secondary particles	الجسيمات الثانوية
Secondery standerd	المغايير الثانوية
Secondary standard dosimetry laboratory	مختبر التعيير الثانوي
Semiconductor detectors	الكواشف شبه الموصلة
Semi – infinite clound model	نموذج الغيمة شبه المستمرة
Shallow – dose equivalent index	دليل مكافىء الجرع السطحية
Shell	مدار
Shield	درع (حاجز)
Skin erythema dose	جرعة احمرار الجلد
Slow neutrons	النيوترونات البطيئة

Smoke detectors	كواشف الدخان
Soft tissue	نسيج طري
Soil plant translocation cofficient	معامل الانتقال بين التربة والنبات
Solar cosmic rays	الاشعة الكونية الشمسية
Solar system	النظام الشمسي
Solid radioctive waste	النفايات المشعة الصلبة
Somatic effects	التأثيرات الجسمية
Spa water	مياه معدنية
Special monitoring program	برنامج مراقبة خاص
Specific activity	الفعالية الخاصة
Specific dose rate constant	ثابت معدل الجرعة الخاصة
Specific ionization	التأين الخاص
Spent fuel	الوقود المستنفد
Spontaneous disintegration	الانحلال الذاتي
Spontaneous fission	الانشطار الذاتي
Stability condition	ظروف الاستقرارية
Stochastic health effects	العشوائية
Stopping power	قوة الايقاف
Sublethal dose	جرعة غير مميتة
Supervised area	المنطقة المراقبة
Synergestic	تعاضدي
Tailing	بقايا
Technologically enhenced exposure	التعرض المزاد تقينا بالتصنيع
Terrestrial environment	البيئة الارضية
Terrestrial model	النموذج الارضي
Terrestrial origin	ذات المنشأ الارضي

Therapeutic use of radiation	استعمال الاشعاع في العلاج
Thermal neutrons	النيوترونات الحرارية
Thermoluminescent	اللمعان الحراري
Thorium isotops	نظائر الثوريوم
Threshold	الحد الحرج
Threshold dose	الجرعة الحرجة
Tissue equivalent	مكافىء النسيج
Tissue equivalent sphere	كرة مكافىء النسيج
Total activity	الفعالية الكلية
Total burden	العبء الكلي
Total containment	الاحتواء التام
Total detriment	الضرر الكلي
Total impact	المترتبات الكلية
Tracer studies	الدراسات بالمواد المعلمة
Transformation of element	تحولات العناصر
Transuranium element	العناصر ما فوق اليورانيوم
Treatment of waste	معاملة النفايات
Ultimate disposal of waste	الردم النهائي للنفايات
Uni – directional exposure	التعرض من اتجاه واحد
Units	وحدات
Units of radiation	وحدات الاشعاع
Unplanned release	الطرح غير المخطط له
UNSCEAR	اللجنة العلمية للامم المتحدة حول تأثير الاشعاع الذري
Uranium concentrate	مركز اليورانيوم
Uranium fuel fabrication	تصنيع وقود اليورانيوم

Uranium isotops	نظائر اليورانيوم
Uranium milling	طحن اليورانيوم
Uranium mining	تعدين اليورانيوم
Weighted absorbed dose	الجرع الممتصة الموزونة
Wet deposition	الترسيب الرطب
Wet process	المعاملة الرطبة
WHO	منظمة الصحة العالمية
Whole bady counter	عداد عموم الجسم
Whole body exposure	تعرض عموم الجسم
Working levels	حدود العمل
Working level month	وحدة قياس للتعرض
X – ray	الاشعة السينية
X – ray tube	انبوب الاشعة السينية

****

المصادر

1. Altman, K. I., Geber, G.B. and Okada, S.C. (1970) Radiation Biochemis try Vol II.

2. Ashwood, M.J. (1983) Phys Boll, 34, 385 - 386.

3. Bauchinger, et. al. (1983) Radiation and Environmental Biophysics 22, 22: 229.

4. Blanchard, F.A. and Lickly, T.D. (1983) Environ. Internat. 9, 63 - 67.

5. Bowen, H. J. C (1979) Environmental Chemistry of the Elements Academic Press London.

6. Bredehoeft, J. D and Maini, T. (1981) Science 213, 293 - 296.

7. Bunn, M. and Tsipis, K. (1983) ScientificAmerican 249, 32 - 41.

8. Burger, G. et. al. (1981) Radiation Rrotection Quantities for External Exposure. Harwood Academic Publishers, 7, 323 - 350.

9. Carnes S.A.et.al (1983) Energy system and policy,7,323-350 (1983) Environmental Scintific Protection,7,323-350

10. Chester, R. O. and FiHs, RB eds (1983) Nuclear Safcty 24, 372 - 382.

11. Clarke, R. H. (1982) Radiol. Prot. Bull. 49, 7-10.

12. Corfman, F.E. (1982) The managment of radioative waste from uranium mining and milling. Proc. Symp. IAEA Vienna.

13. Cohen, B.L. (1982) Health Physics 40; 19-25.

14. Cohen, B.L. (1982) Ibid 42, 753-757.

15. Cothern, et. al. (1983) Health Physics 44, 377-383.

16. Cox, L.A. et. al. (1983) Nuclear Safety 24, 459 - 470.

17. Crow, J.F. and Denniston, C. (1981) Science 212, 888 - 893.

18. Csongon, E. and Hertel endi, E. (1982) Atomki Kozlemenyek 3, 179 - 183.

19. Dix, H. M. (1981) «Environmental Pollution» John Wiley and Sons U.S.A.

20. Dunning, D.E. and Killough, G.G. (1981) Radiation Protection Dosimetry 1, 3 - 9.

21. Etnier, E.L. and Travis, C.C. (1983) Nuclear Safety 24, 671 - 677.

22. Fabrikants, J. F. (1981) Health Physics 40, 151 - 161.

23. Fetter, S.A. and Tsipis, K. (1981) Scientific American 244, 41-47.

24. Foderaro, A. (1971) The Elements of Neutron Interaction Theory. MIT Press U.S.A.

25. Fritschen, L.J. and Gag, L.W. (1979) «Environmental Instumentation. Springer - Verlag New york.

26. Gentry, R.D. and Travis, C.C. (1981) Health Physics 40, 73 - 76.

27. Glotfelty, D.E. and Taylor, A.W. (1983) Science 219, 834-845.

28. Greening, I.R. (1981) Fendamental of Radiation Dosimetry Adam Hilger

29. Hamilton, L.D. (1985) Nuclear, Safety 24, 155-172.
30. Healy, J.W. (1982) Health Physics 42, 407-413.
31. Helton, J.C. and Iman, R.L. (1982) Health Physics 42, 565-584.
32. Hill, M.D. (1981) J. Radiol. Prot. 1, 30-32.
33. Hippel, F.V. (1983) Nuclear Safety24, 904 - 906.
34. Hori, T.A. and Nakai, S. (1978) Mut. Res. 50, 101-110.
35. Hutzinger, O. (1980) «The Handbook of Environmental Chemist r y» Vol. 3 part A Springer- Verlag, W. Germany.
36. IAEA (1973) «Rádiation Protection Procedures» (Safety Series No 38). IAEA Vienna.
37. IAEA (1978) «Monitoring of Airborne and Liquid Radioactive Releases from Nuclear Facilities to the Environment (Safety Series No 46) IAEA Vienna.
38. IAEA (1978) National and International Standarization of Radiation Dosimetry Vol II Proceed. Symp. IAEA Vienna.
39. IAEA (1978) Principles for Establishing limits for Release of Radiocative Materials into the Environment IAEA Vienna.
40. IAEA (1980) «Site Selection and Evaluation for Nuclear Power Plants with Respect to Population Distribution (Safety Series. No 50- SG. 54). IAEA Vienna.
41- IAEA (1980) Basic Requirements for Personnel Monitoring, Dafety Series No. 14 IAEA Vienna.
42, IAEA (1980) Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting. Safety series, No. 50-S 6-S3.
43. IAEA (1981) Planning for Off-Site Response to Radiation Accidents in Nuclear Facilities (Safety Series No 55) IAEA Vienna.
44. IAEA (1982) Basic Saefety Standard, for Radiation Protection. Isafety Series No. 9. 1982 ed) IAEA Vienna.
45. IAEA (1982) Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases (Safety Series No. 57) IAEA Vienna.
46. IAEA (1982) Nuclear Power theEnvironment and Man, IAEA, Vienna.
47. IAEA, (1983) Biological effects of Low Level Radiation, Proceed. Symp. IAEA, Vienna.
48. IAEA (1983) Radiation Protection During Operation of Nuclear Power Plants (Safety Series No. 50- SG- 05). IAEA Vienna.
49. ICRP (1973) ICRP Publication 15 and 21 Protection Against «Ionizing Radiation from External Sources. Pergaman Press. England.
50. ICRP (1973) ICRP Publication 22. Implications of Commission Recommendations that Doses be kept as Low as Readily Achievable. Pergamon Press. England ICRP Publication 23.
51. ICRP (1972) Reference Man, physiological and Metablic Characterstics Pergamon Press, England.

52. ICRP (1977) ICRP Publication 26. Recommendation of the International Commission on Radiological Protection. Pergamon Press England.
53. ICRP (1977) ICRP Publication 27. Problems Involved in Developing an Index of Harm.. Pergamon Press England. (ICRP Publication 28).
54. ICRP (1978) (ICRP Publication 28) The Principles and general Procedures for Handling Emergency and Accidental Exposuses of Workers.
55. ICRP (1979) (ICRP Publication 29) Radionuclides Release into the Environment; Assessment of Doses to Man. Pergamon Press England.
56. ICRP (1979) (ICRP Publication 30, Party) Limits of Intake of Radionuclides by workers. Pergamon Press, England.
57. ICRP (1980)(ICRP Publication 30, Supplement to Part 1). Pergamon Press, England.
58. ICRP (1980) (ICRP Publication 31). Biological Effects of Inhaled Radionuclides. Pergamon Press, England.
59. ICRP (1980) ICRP Publication 30 Part 2) Limits for Intake of Redionuclider by workers. Pergamon press, England.
60. ICRP (1981) ICRP Publication 30 Parts) Limits of Intake of Radionuclides by Workers. Pergamon Press. England.
61. ICRP (1982) ICRP Publication 39 General principles of Monitoring for Radiation Protection of workers, Pergamon Press England.
62. ICRP (1983) ICRP Publication 37. Cost- Benefit Analysis in the Optimization of Radiation Protection, Pergamon Press England.
63. ICRP (1984) ICRP Publication 39, Principles for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation. Pergamon Press, England.
64. ICRP(1984) ICRP Publication 40, Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accident: Principles for Planning, Pergamon Press England.
65. ICRP (1984) ICRP Publication 41, Non dtochastic Effects of Ionizing Radiation, Pergamon Press, England.
66. ICRP (1984) ICRP Publication 42, A. Compilation of the Major Concepts and Quantities in use by ICRP Pergamon. Press, England.
67. ICRP (1985) ICRP Publication 43. Principles of Monitoring for the Radiation Protection of the Population. Pergamon Press, England.
68. Irweck, K. (1981) Radiation Protection Dosimetry 1, 175-182.
69. Jaskc, R.T. Berven, B.A. and Haywood, F.F. (1983) Health Physics 45, 631-641.
70. Jaworowski, Z. (1982) IAEA Bull. 24, 35-39.
71. Johnson, J.R. et. al. (1981) Radiation Protection Dosimetry 1, 87-95.
72. Jones, J.A. (1982) Radiol. Prot. Bull. Part 49 15-17.
73. Kahn, B. et. al. (1983) Health Physics 45, 349-361.
74. Kathern, R.I. (1982) Health Physics 42, 119-131.
75. Kase, K.R. and Nelson, W.R. (1978) Concepts of Radiation Dosimetry. Pergamon Press U.S.A.

76. Kates, R.W. (1981) Risk Assessment of Environmental Hazards., SCOPE John Willcy and Sons England.

77. Kiefer and Maushart (1972) Radiation Protection Measurements,Englisg edition Pergamon Press.

78. King. P.T. et. al. (1982) Geochemica of Gasmochimica ACtA 46, 1173-1182.

79. Krishnamoney S. and Raghunath, V. M. (1969) Hand.book of Health Physics BHABHA Atomic Research Centres Bambay India.

80. Lickly, T.D., Blanchard, F.A. and Takaheshi, I.T. (1983) 9, 221-224.

81. Lindell, E. 8. ed (1976) Radiation Protection Liber Tryck stockhulm.

82. Liou, K.N. (1980) «An Introduction to Atmospheric Radiation» Academic Press New York.

83. Livingston, H.D. and Anderson, R.F. (1983) Nature 303, 228-231.

84 . Lloyd, D.C. and Purrott, R.J. (1981) Radiation Protection Dosimetry. 1, 19 –28

85 Markovic, P.D. ed (1977) Current Problems and concepts of the Health Physics, Boris Kidrc, Yagoslvia

86 . Martin, A. and Harbison, S. (1979; «An Introduction Radiation Protection» 2nd ed. Chapman and Hall, London.

87 . Martin, R.F. and Haseltine, W.A. (1981) Science 213, 896 – 898.

88 . Max Well, K.E. (1980) «Environment of Life, 3rd ed. Brooks/ Cole Publishing Co, U.S.A

89 . Mc Kinlay, A.F. (1981) «Thermoluminescence Doismetry. Adam Hilger Publisher. U.K.

90 . Metcalf, P.E. and Winkler, B.C. (1980) Radiation Protection: A Systematic Approach to Safety. Proceed:. Sym IAEA Vienna

91 . Miller, S. (1980) Environmental Science Technola 14, 1417.

92 . Minato, S. (1983) J. Redioanal. Chem 78, 199 – 207

93 . Momoshima et. al. (1983) Radiochem. Radioanal, Letters 58, 1 – 18

94 . Moolgavkar, S.H (1983) Environ Health. Prosp. 50, 285 – 291

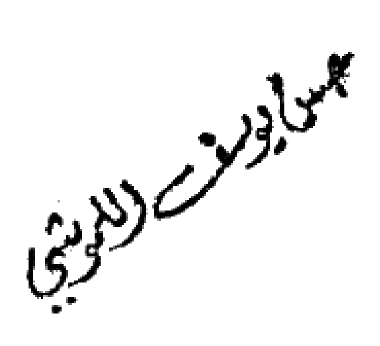
95 . NCRP (1971) (NCRP Report No 39)Basic Radiation Protection Criteria. National Council on Radiation Protection and Measurements U.S.A

96 . NCRP (1974) (NCRP Report No 42) Radiological Factors Affecting Decision – Making in a Nuclear Attack. National Council on Radiation Protection and Measurements U.S.A

97 . NCRP (1975) (NCRP Report No 43) Review of the Current state of Radiation Protection
Philosophy. National Council on Radiation Protection and Measurements U.S.A
98 . NCRP (1975) (NCR P Report No..45) National Background Radiation in the United states, National Council on Radiation Protection and Measurement U.S.A
99 . NCRP (1976) (NCRP Report No 50) Environmental
Radiation Measurements. National Council on Radiation Protection and Measurement. U.S.A
100 . NCRP (1977) (NCrp Reort No 56) Radiation Exposure Form Consumer Products and Miscellaneous Sources. National Council on Radiation Protection and Measurements U.S.A
101 . NCRP (1978) (NCRP Reort No 57) Instrumentation and Monitoring Methods for Radiation Protection, National Council on Radiation Protection and Measurements. U.S.A
102 . NCRP (1978) (NCRP Report No 58) A Handbook of Radioactivity Measurement Procedures. National Council on Radiation Protection and Measurement U.S.A
103 . NCRP (1978) (NCRP Report No 59) Operational Radiation Safety Program. National Council on Radiation Protection and Measurements. U.S.A
104 . NCRP (1980) (NCRP Report No 64) Influance of Dose and its Distribution in Time on Dose – Response Relation ship for Low – LET Radiation National Council on Radiation Protection and Measurements U.S.A
105 . NCRP (1981) Critical Issues in Setting Radiation Dose Limits, Symposium Preceeding, National Council on Radiation Protection and Measurements U.S.A
106 . Nero, A.V (1983) Health Physics 45, 303 – 322.
107 . Oberhofer, M. and Scharman, A. eds. (1979)
«Applied Thermoluminescence Dosimetry» Adam Hilger Publisher U.K
108 . OECD (1983) Nuclear Safety, 24, 239 – 242.
109 . Parker A. ed (1978) «Industrial Air Pollution Handbook», Mc Graw – Hill Book Co. U.K
110 . Pentreath, R.J. (1980) Nuclear Power, Man and the Environment, Taylor and Francis Ltd London.
111) Pitout, M.S. et. al. (1983) Nuclear Active 28, 29-32.
112. Pocbin, E.E. (1980) Atomic Energy Review A 376 779-800.
113. Pochin, E.E. (1981) Proc. R. Soc. Lond. A 376. 87-101.

114. Ringwood, T. (1983) New Scientist 98- 756-758.
115. Robertson, M. (1983) New Scientist 98, 688-691.
116. Rolph, E.S. (1979) Nuclear Power and the Public Safety. Rand Corporation U.S.A.
117. Sakka, M. (1982) J. Radiol Res. 25,411-422.
118. Scherplez, R. I and Desrosiers,A.E. (1982) Health Physics 43, 187-203.
119. Shapiro, j. (1981) «Radiation Protection» 2 nd ed. Harward Press.
120. Silverman, C. and Shore, M.C. (1976) «Biological and Environmental Effects of Low-Level Radiation Proeed. Symp. Vol II IAEA Vienna.
121. Simon, R.E, (1981) Health Physics 40, 529-534.
122. Simon, N. and Shils, M. (1983) Science 221, 318-319.
123. Solon, L.R. and Rosenberg, K. (1981). The Bull.of Atomic Scientist 54, 56
124. Stein, F. et. al. (1983) .Health Physics 45, 331-337.
125. Tanooka, H. and Munakata, N. (1978) Rad. Res. 73,581-584.
126. Till, J.E., Etnier, E.L. and Meyer, H.R. (1981) Nuclear Safety 22, 205-213.
127. UNSCEAR (1982) Ionizing radiation: sources and biological effects. 1982 report to the General Assembly. United Nation New York.
128. Weisburger, J.H. and Williams, G.M. (1983) Environ. Health Perspective 50, 233-245.
129. Wena, P. and Chu, T. (1981) Health Physics 40, 489-494.
130. WHO (1984) The Medical Effect of Nuclear War on Health Services WHO, Geneve.
131. Winogard, I.J. (1981) Science 212, 1457-1464.
132. Winter, J.V. and Conner, D. A. (1978) «Power Plant Siting» Van Nostrand Reinhold New York.
133. Yunis, J.J. (1983) Science 221, 227 - 235.

****



رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد (٢٢٣) لسنة ١٩٨٩



بغداد ـ البتاويين ٧١٨٤٧٢٨

حسن يوسف اللويشي

منشورات منظمة الطاقة الذرية العراقية
قسم الاعلام والنشر
للمراسلات ـ صندوق بريد ٧٦٥ بغداد